

ISSN 2353-9062

1 (111) 2018

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

Wydawca:



Redakcja: UL. Krucza 36, 00-522 Warszawa
TEL. 22 695 98 22, 629 85 93
FAX 22 695 98 15
E-MAIL biuletyn@paa.gov.pl
WWW. paa.gov.pl

Maciej JURKOWSKI, Redaktor naczelny, Przewodniczący Rady Programowej

Marek WOŹNIAK, Redaktor techniczny

ISSN 2353-9062 (publikacja elektroniczna)

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA

BIULETYN INFORMACYJNY PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Nr 1 (111) 2018
Warszawa

Spis treści

Elżbieta Zalewska, Andrzej Furtek Państwowa Agencja Atomistyki – krótki rys historyczny	5
Maciej Kulig Doświadczenia operacyjne i ciągłe doskonalenie w energetyce jądrowej – wyzwania i bariery, teoria i praktyka	9
Adam Jaroszek Pesymistyczne warunki meteorologiczne w przypadku zdarzenia radiacyjnego z uwolnieniem skażeń promieniotwórczych do atmosfery	21
Maciej Lemiesz Geneza konwencji o dodatkowym odszkodowaniu za szkodę jądrową, tzw. <i>Umbrella Convention</i> . . .	26
Wojciech Głuszewski Radioliza w składowiskach odpadów promieniotwórczych	33
Wojciech Głuszewski Radiacyjna konserwacja obiektów zabytkowych.	40

Szanowni Państwo

Pierwszy tegoroczny numer Biuletynu otwiera artykuł pani **Elżbiety Zalewskiej** i pana **Andrzeja Furtka** przypominający historię powstania i przekształceń Państwowej Agencji Atomistyki od daty jej utworzenia w lutym 1982 do dnia dzisiejszego. Na przestrzeni minionych 36 lat PAA, z podmiotu zarządzającego szeroko rozumianą atomistyką – od badawczych reaktorów jądrowych, zakładów produkcji izotopów, urzędów jądrowych i aparatury dozymetrycznej, obiektów unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych, ich przechowywania i składowania, poprzez instytuty naukowo-badawcze, laboratoria pomiarowe i jednostki badawczo-rozwojowe, po służby kontrolne, dozymetryczne i reagowania awaryjnego – przekształciła się stopniowo w urząd państwowego dozoru bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, czyli urząd dozoru jądrowego. Publikacja obecnego numeru Biuletynu niemal zbiegła się w czasie z powołaniem przez pana premiera Mateusza Morawieckiego na stanowisko Prezesa PAA dotychczas pełniącego te obowiązki pana Andrzeja Przybycina.



Tematyce związanej z dozorem nad obiektami energetyki jądrowej poświęcony jest artykuł pana **Macieja Kuliga**. Wskazuje on na obowiązki i zadania posiadacza zezwolenia na eksploatację obiektu jądrowego (operatora) w zakresie ciągłego doskonalenia bezpieczeństwa eksploatowanego obiektu w oparciu o analizę doświadczeń/zdarzeń z jego eksploatacji. Autor szczegółowo omawia istotne aspekty nowoczesnych metod i technik prowadzenia takich analiz. Do dozoru jądrowego należy kontrola, jak operator obiektu jądrowego wywiązuje się m.in. z tego obowiązku. Dla analityków i inspektorów europejskich dozorów jądrowych organizowane są scentralizowane szkolenia w zakresie tych metod na poziomie UE.

Dozór jądrowy PAA przygotowany jest do prowadzenia analiz i ocen bezpieczeństwa dla sytuacji normalnej eksploatacji, zdarzeń eksploatacyjnych, jak również awarii, w tym poważnych awarii o bardzo niskiej częstości występowania, prowadzących do zdarzeń radiacyjnych z uwolnieniem skażeń promieniotwórczych do atmosfery. Pan **Adam Jaroszek** omawia wpływ warunków meteorologicznych na potencjalne skutki takich zdarzeń.

Kolejny artykuł w cyklu dotyczącym problematyki odpowiedzialności cywilnej za szkody jądrowe, autorstwa pana **Macieja Lemiesza**, omawia genezę i obecny status tzw. *Umbrella Convention* o dodatkowym odszkodowaniu za szkody jądrowe.

Doświadczeniom z polskiego udziału w badaniach wpływu zjawiska radiolizy na bezpieczeństwo składowania różnych rodzajów odpadów promieniotwórczych, w tym odpadów organicznych, w podziemnym, pilotowym obiekcie WIPP w USA, zlokalizowanym w pokładach soli, poświęcony jest artykuł pana **Wojciecha Głuszewskiego**. Oddziaływanie promieniowania na substancje odpadowe w rzeczywistym składowisku symulowano, poddając próbki tych substancji impulsowemu działaniu wiązek elektronów o odpowiednio dobranych energiach z akceleratora liniowego.

Numer zamyka informacja pana **Wojciecha Głuszewskiego** o monografii poświęconej zastosowaniom promieniowania jonizującego w procesach konserwacji obiektów zabytkowych, których prekursorką była Maria Skłodowska-Curie, opublikowanej w 150 rocznicę jej urodzin przez MAEA.

Życzymy Państwu owocnej lektury.

Przewodniczący Rady Programowej
Maciej Jurkowski

Państwowa Agencja Atomistyki – krótki rys historyczny

Elżbieta Zalewska, Andrzej Furtek
Państwowa Agencja Atomistyki

Wstęp

27 lutego minęła kolejna rocznica utworzenia urzędu odpowiedzialnego za nadzór i kontrolę w sprawach wykorzystania energii atomowej, w tym za nadzór nad bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną w Polsce – Państwowej Agencji Atomistyki (PAA).

Początki planów dotyczących przemysłowego wykorzystania energii jądrowej w Polsce można datować na rok 1956. Wtedy utworzono urząd Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej z organem doradczym pod nazwą Państwowa Rada ds. Wykorzystania Energii Atomowej. Urząd Pełnomocnika został w 1973 r. zastąpiony Urzędem Energii Atomowej. Od roku 1976 sprawami atomistyki zajmowało się Ministerstwo Energetyki i Energii Atomowej. Lata 1981 – 1982 to okres funkcjonowania Pełnomocnika Rządu ds. Atomistyki. Ostatecznie w 1982 r. powołano **Państwową Agencję Atomistyki**.

Poprzednicy PAA

Uchwałą Prezydium Rządu nr 419/55 z 4 czerwca 1955 r. utworzono Instytut Badań Jądrowych (IBJ), podporządkowany Polskiej Akademii Nauk (PAN), z ośrodkami badań jądrowych w Świerku koło Otwocka, w Warszawie na Żeraniu (głównie badania chemiczne) oraz w Bronowicach pod Krakowem. Kilka miesięcy później zatwierdzono projekt budowy pierwszego polskiego reaktora doświadczalnego w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku. Plany te sfinalizowano 4 czerwca 1958¹ r. uruchomieniem

pierwszego w Polsce doświadczalnego reaktora jądrowego „EWA – Eksperymentalny-Wodny-Atomowy”.²

Uchwałą Sekretariatu Naukowego Prezydium PAN z 15 czerwca 1955 r. został powołany do życia Komitet ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej przy Prezydium PAN, któremu powierzono planowanie i koordynację prac badawczych w dziedzinie nauki i techniki nuklearnej oraz współdziałanie w organizowaniu szkolenia odpowiednich specjalistów. Szybko jednak okazało się, że zarówno IBJ, jak i Komitet ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej jako organy PAN nie są w stanie koordy-



Fot. 1. Uruchomienie reaktora EWA w Świerku – do książki pamiątkowej wpisuje się premier Józef Cyrankiewicz (źródło: z archiwum NCBJ).

¹ Budowa reaktora EWA rozpoczęła się wiosną 1956 r.

² W Archiwum Polskiego Radia zachowała się relacja z tego wydarzenia. Symbolicznego uruchomienia reaktora EWA w Świerku dokonał premier rządu PRL, Józef Cyrankiewicz. Witał go pełnomocnik ds. energii jądrowej, Wilhelm Billig. – „Towarzyszu premierze! Uruchomienie pierwszego polskiego reaktora atomowego posiada pierwszorzędne znaczenie dla rozwoju atomistyki, co więcej ma niemałe znaczenie dla rozwoju nauki i postępu technicznego. Naukowcy ze Świerku czekają z niecierpliwością na strumień neutronów z reaktora, czekają na sygnał towarzysza premiera, który go uruchomi”.

nować całokształtu prac związanych z zastosowaniem energii jądrowej, zwłaszcza w wymiarze międzyresortowym, gdyż nie mają odpowiedniego instrumentarium prawnego i wystarczających kompetencji. Brak było struktur państwowych, które mogłyby koordynować tego typu działalność naukową. W związku z tym 6 lipca 1956 r. powołano urząd Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej oraz podporządkowano mu Państwową Radę ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej.

Zgodnie z uchwałą Prezydium Rządu z dnia 11 lipca 1956 r. Pełnomocnikiem został Wilhelm Billig do 1968 r. – wcześniejszy wiceminister w Ministerstwie Poczty i Telegrafów oraz Ministerstwie Łączności. Jego zastępcą był stypendysta Ministerstwa Szkół Wyższych i Nauki – Jerzy Metera. W roku 1963 stanowisko zastępcy pełnił już Jerzy Auerbach, absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. W roku 1970 stanowisko to objął dr inż. Jan Felicki. Sprawował tę funkcję do roku 1973 – do chwili likwidacji urzędu.



Fot. 2. Pełnomocnik Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej Wilhelm Billig (z lewej) (źródło: ze zbiorów rodziny Niewodniczańskich).

Głównym zadaniem postawionym przed nowymi organami (Pełnomocnikiem i Radą) było „koordynowanie prac organizacyjno-administracyjnych w zakresie nauki i techniki jądrowej”, gdy tymczasem koordynację działań w sferze czysto naukowej pozostawiono w gestii Komitetu ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej. Tym samym zwierzchność urzędu Pełnomocnika i Rady wobec IBJ i innych mniejszych placówek badawczych sprowadzała się wyłącznie do kwestii finansowych i inwestycyjnych.³

Urząd Pełnomocnika, na podstawie ustawy z dnia 12 kwietnia 1973 r.⁴, został zastąpiony Urzędem Energii Atomowej (UEA) i w tej formie funkcjonował do 1976 r.

³ Stopniowy rozwój polskiej atomistyki powodował u władz PRL obawy o to, że występująca dotychczas jedynie w charakterze importera myśli i rozwiązań technologicznych nauka polska stać się może interesująca dla obcych ośrodków wywiadowczych. W 1964 r. w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych zapadła decyzja o roztoczeniu „opieki operacyjnej” nad placówkami naukowymi związanymi z szeroko rozumianą atomistyką.

⁴ Dz.U. 1973 nr 12 poz. 88.

⁵ <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19760120067/O/D19760067.pdf>

⁶ Dz.U. 1981 nr 17 poz. 77.

67

U S T A W A

z dnia 27 marca 1976 r.

o utworzeniu urzędu Ministra Energetyki i Energii Atomowej.

Art. 1. Tworzy się urząd Ministra Energetyki i Energii Atomowej. elektrycznej i ciepłej, wykorzystania energii atomowej w gospodarce narodowej, kopalnictwa węgla brunatnego oraz dozoru technicznego.

Art. 2. 1. Do zakresu działania Ministra Energetyki i Energii Atomowej należą sprawy: wytwarzania energii 2. Minister Energetyki i Energii Atomowej sprawuje nadzór nad Urzędem Dozoru Technicznego.

Dziennik Ustaw Nr 12

— 132 —

Poz. 57

3. Rada Ministrów określi w drodze rozporządzenia szczególny zakres działania Ministra Energetyki i Energii Atomowej oraz nada statut Ministerstwu.

Art. 3. 1. Znosi się Urząd Energii Atomowej.
2. Sprawy należące dotychczas do właściwości Urzędu Energii Atomowej i Prezesa Urzędu Energii Atomowej przechodzą do właściwości Ministra Energetyki i Energii Atomowej.

Art. 4. Rada Ministrów określi w drodze rozporządzenia zadania wynikające z ustawy z dnia 30 maja 1952 r. o gospodarce paliwowo-energetycznej (Dz. U. Nr 32,

poz. 150 i z 1971 r. Nr 12, poz. 117), które przechodzą do zakresu działania Ministra Energetyki i Energii Atomowej, Ministra Górnictwa oraz Ministra Gospodarki Materialnej.

Art. 5. Trzeci moc ustawy z dnia 12 kwietnia 1973 r. o utworzeniu Urzędu Energii Atomowej (Dz. U. Nr 12, poz. 88).

Art. 6. Ustawa wchodzi w życie z dniem uchwalenia.

Przewodniczący Rady Państwa: H. Jabłoński
Sekretarz Rady Państwa: L. Szańko

Fot. 3. Ustawa znosząca Urząd Energii Atomowej (źródło: archiwum Sejmowe).

Siedziba UEA mieściła się na 18 piętrze Pałacu Kultury i Nauki. Ustawą z dnia 27 marca 1976 r. Urząd Energii Atomowej został zlikwidowany, a sprawy „atomistyki” włączone zostały w zakres kompetencji do nowo tworzonego Ministerstwa Energetyki i Energii Atomowej ulokowanego na ul. Mysiej.⁵

Kolejna reorganizacja była związana z decyzją Sejmu z dnia 3 lipca 1981 r., kiedy to podczas uchwalania ustawy o utworzeniu urzędu Ministra Górnictwa i Energetyki⁶ w jej tekście umieszczono zapisy:

„Art. 6.

1. Znosi się urzędy Ministra Górnictwa oraz Ministra Energetyki i Energii Atomowej.
2. Sprawy należące do zakresu działania – Ministra Górnictwa oraz Ministra Energetyki i Energii Atomowej z wyłączeniem spraw energii atomowej przechodzą do zakresu działania Ministra Górnictwa i Energetyki ”.

Takim sposobem „atomistyka” zawiśła w próżni, ponieważ zniknął państwowy organ kompetentny w zakresie spraw związanych z „atomistyką”.

Od lipca 1981 r. do lutego 1982 r. sprawami energii atomowej zajmował się tymczasowo powołany Pełnomocnik Rządu ds. Atomistyki. 31 lipca 1981 r. prof. Jerzy Minczewski (pełniący funkcję Pełnomocnika) złożył na ręce prof. Zygmunta Rybickiego (ówczesnego Podsekretarza Stanu w URM) wstępny projekt ustawy dotyczącej postulowanego urzędu ds. atomistyki i w terminie późniejszym komplet dokumentów zawierający projekt:

- ustawy o utworzeniu Państwowego Komitetu Atomistyki (to była jedna z sugerowanych nazw), a także
- rozporządzenia Prezesa RM w sprawie zakresu działania tego urzędu i jego statutu.

Przełomowym dniem dla „atomistyki” był 27 lutego 1982 r., kiedy Sejm PRL uchwalił ustawę o utworzeniu **Państwowej Agencji Atomistyki**⁷. Pod koniec marca Pełnomocnik Rządu ds. Atomistyki opracował projekty rozporządzenia RM w sprawie szczegółowego zakresu działania PAA oraz uchwały RM w sprawie nadania statutu PAA z prośbą o nadanie im dalszego biegu. Dziesięć dni później pojawiło się rozporządzenie RM, a 27 kwietnia 1982 r. Rada Ministrów podjęła uchwałę Nr 74/82 w sprawie nadania statutu PAA, ustalając strukturę organizacyjną Agencji i podległe jej jednostki.⁸

64

USTAWA

z dnia 27 lutego 1982 r.

o utworzeniu Państwowej Agencji Atomistyki.

Art. 1. 1. Tworzy się Państwową Agencję Atomistyki. 2. Państwowa Agencja Atomistyki realizuje wyłączone

ność Państwa w dziedzinie atomistyki w zakresie określonym w niniejszej ustawie.

Dziennik Ustaw Nr 7

— 172 —

Poz. 6

Art. 2. 1. Państwowa Agencja Atomistyki wykonuje zadania centralnego organu administracji państwowej w zakresie atomistyki i jest organem zwoleńcowskim w stosunku do podległych jej wyodrębnionych jednostek organizacyjnych.

2. Państwowa Agencja Atomistyki podlega Prezowski Rady Ministrów. Prezes Rady Ministrów może przekazać sprawowanie nadzoru nad działalnością Agencji jednemu z członków Rady Ministrów.

3. Na czele Państwowej Agencji Atomistyki stoi Prezes. Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki powołuje i odwołuje Prezes Rady Ministrów. Wiceprezesa Państwowej Agencji Atomistyki powołuje i odwołuje Prezes Rady Ministrów na wniosek Prezesa Agencji.

4. Prezes Państwowej Agencji Atomistyki kieruje Agencją przy pomocy Zarządu, któremu przewodniczy. W skład Zarządu Państwowej Agencji Atomistyki wchodzi: wiceprezes Agencji, przedstawiciele Ministrów: Górnictwa i Energetyki, Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki, Obrony Narodowej, Zdrowia i Opieki Społecznej oraz Polskiej Akademii Nauk, a ponadto powołani przez Prezesa Agencji dyrektorzy jednostek organizacyjnych, wchodzących w skład Agencji.

9) współpracy międzynarodowej w zakresie atomistyki w sprawach określonych w pkt 1—6,

10) nadzoru nad wykonywaniem zadań przez podległe jej wyodrębnione jednostki organizacyjne.

Art. 4. 1. Zadaniem Państwowej Agencji Atomistyki jest wytyczanie kierunków działań w zakresie określonym w art. 3, stosownie do potrzeb społecznych i gospodarczych, zgodnie z polityką Państwa.

2. Zadaniem Państwowej Agencji Atomistyki realizuje w szczególności przez prognozowanie i programowanie nie kompleksowych działań w celu rozwoju i pokojowego wykorzystania atomistyki, dokonywanie analizy i oceny działalności placówek naukowo-badawczych, przedsiębiorstw i innych jednostek organizacyjnych wchodzących w skład Agencji, koordynowanie tej działalności, współdziałanie w kształtowaniu systemów ekonomicznych jednostek organizacyjnych wchodzących w skład Agencji prowadzenie polityki kadrowej oraz udzielanie pomocy w szkoleniu kadr w zakresie atomistyki.

Art. 5. 1. Przy Państwowej Agencji Atomistyki działa Rada do Spraw Atomistyki, jako organ opiniotwórczy i doradczy w sprawach objętych zakresem działania Agencji. Przewodniczącym Rady powołuje Prezes Rady

W nowo utworzonej i będącej w fazie organizacji Agencji, kierowanej chwilowo przez prof. Jerzego Minczewskiego, trwała normalna praca i prowadzone były intensywnie sprawy współpracy międzynarodowej.

PAA wczoraj i dziś

Przepisy prawne regulujące działalność PAA, a także zagadnienia nadzoru nad bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną w Polsce zostały zebrane w ustawie Prawo atomowe, która po raz pierwszy weszła w życie w 1986 r.

Rada Ministrów nadała statut Państwowej Agencji Atomistyki, która była podległa bezpośrednio Prezesowi Rady Ministrów.

Znowelizowana ustawa Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000 r. ustanowiła **Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki** centralnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej⁹. Zgodnie z art. 112 ust. 1 ustawy Prawo atomowe Prezes PAA wykonuje swoje zadania przy pomocy Państwowej Agencji Atomistyki.

Od 1 stycznia 2002 r. nadzór nad Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki sprawuje minister właściwy do spraw środowiska. Prezesa PAA powołuje Prezes Rady Ministrów na wniosek Ministra Środowiska. Minister właściwy ds. środowiska w drodze zarządzenia nadaje statut Państwowej Agencji Atomistyki określający jej organizację wewnętrzną¹⁰.

Rada Ministrów w dniu 13 stycznia 2009 r. podjęła uchwałę nr 4/2009 w sprawie działań podejmowanych w zakresie rozwoju energetyki jądrowej, a 28 stycznia 2014 r.

Fot. 4. Fragment ustawy o utworzeniu Państwowej Agencji Atomistyki (źródło: archiwum Sejmowe).

Tabela 1. Chronologiczny wykaz prezesów Państwowej Agencji Atomistyki.

Imię i nazwisko	Stanowisko	Czas pełnienia funkcji	Powołany przez PRM
dr Mieczysław Sowiński	prezes	27.06.1982 – 15.12.1989	Wojciecha Jaruzelskiego
prof. Roman Żelazny	prezes	15.12.1989 – 05.12.1991	Tadeusza Mazowieckiego
mgr inż. Andrzej Janikowski	p.o. prezesa (viceprezes)	05.12.1991 – 20.08.1992	Krzysztofa Bieleckiego
prof. dr hab. Jerzy Niewodniczański	prezes	21.08.1992 – 20.02.2009	Hannę Suchocką
prof. dr hab. Michael Waligórski	prezes	20.02.2009 – 30.11.2010	Donalda Tuska
mgr inż. Janusz Włodarski	prezes	07.01.2011* – 24.03.2016	Donalda Tuska
mgr inż. Maciej Jurkowski	p.o. prezesa	24.03.2016 – 30.03.2016	Beatę Szydło
mgr inż. Andrzej Przybycin	p.o. prezesa	31.03.2016 – 12.03.2018	Beatę Szydło
mgr inż. Andrzej Przybycin	prezes	13.03.2018 – obecnie	Mateusza Morawieckiego

* w czasie od 30.11.2010 r. do 07.01.2011 r. zadania prezesa wykonywał ówczesny wiceprezes Maciej Jurkowski (źródło: opracowanie własne).

⁷ <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19820070064/O/D19820064.pdf>

⁸ Ze wspomnień prof. Jerzego Chmielewskiego <http://chmielurki.pl/category/atom/>

⁹ Status prawny Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki określony jest w rozdz. 13 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe (Dz.U. z 2017 r. poz. 576).

¹⁰ Zarządzenie nr 69 Ministra Środowiska z dnia 3 listopada 2011 r. w sprawie nadania statutu Państwowej Agencji Atomistyki (Dz. Urz. MŚiGIOŚ Nr 4, poz. 66, Dz. Urz. MŚ z 2014 r., poz. 63).

uchwałę nr 15/2014 w sprawie programu wieloletniego pod nazwą „Program Polskiej Energetyki Jądrowej” (PPEJ).

PAA rozpoczęła przygotowania do realizacji PPEJ praktycznie od momentu przyjęcia przez Rząd uchwał w sprawie działań podejmowanych w związku z rozwojem energetyki jądrowej i z tego powodu przeszła liczne zmiany i przekształcenia organizacyjne w celu dostosowania jej do pełnienia funkcji nowoczesnego dozoru jądrowego w odniesieniu do energetyki jądrowej.

W latach 2014–2016 kontynuowano działania związane z dostosowywaniem ram prawnych i ustalaniem odpowiednich wymogów w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla planowanej budowy elektrowni jądrowej i jej eksploatacji, które umożliwiają organom dozorowym wykonywanie skutecznego nadzoru nad bezpieczeństwem prowadzenia takiej działalności. W wymienionym okresie dokonano kilkakrotnie nowelizacji ustawy

Prawo atomowe oraz opracowano nowe rozporządzenia wykonawcze do ustawy.

Obecnie PAA, pod względem organizacyjnym, jest w pełni przygotowana do pełnienia funkcji dozoru jądrowego dla przyszłej energetyki jądrowej proporcjonalnie do etapu, na którym znajduje się proces realizacji PPEJ. PAA jest też wyposażona w niezbędne instrumentarium prawne adekwatne do potrzeb zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej.

Notka o autorach

Elżbieta Zalewska – specjalista w Gabinetie Prezesa, wieloletni pracownik PAA odpowiedzialny za sprawy komunikacji społecznej (elzbieta.zalewska@paa.gov.pl)

Andrzej Furtek – główny specjalista w Gabinetie Prezesa, wieloletni pracownik PAA ds. współpracy międzynarodowej. W latach 2006–2016 przedstawiciel Polski w Grupie roboczej ds. kwestii atomowych Rady Unii Europejskiej (andrzej.furtek@paa.gov.pl)

Doświadczenia operacyjne i ciągłe doskonalenie w energetyce jądrowej – wyzwania i bariery, teoria i praktyka

Operating experience and continuous improvement in nuclear power – challenges and barriers, theory and practice

Maciej Kulig

Konsultant ENCONET Consulting

Niniejszy artykuł prezentuje uwagi i spostrzeżenia dotyczące efektywnego wykorzystania doświadczeń (obserwacji) operacyjnych¹ (ang. *Operating Experience Feedback*, OEF) w sektorze energetyki jądrowej, obszarze działalności bliskim zainteresowaniom zawodowym autora. Artykuł zwraca uwagę na niektóre ważne aspekty związane z praktycznym wdrożeniem filozofii ciągłego doskonalenia, podejścia promującego prewencyjny charakter procesu wykorzystania OEF, a także na istotne wyzwania i bariery związane z realizacją tego podejścia.

Tematyka efektywnego wykorzystania obserwacji operacyjnych nawiązuje do wcześniejszych publikacji autora dotyczących analizy przyczyn poważnych wypadków w elektrowniach jądrowych (Biuletyn Informacyjny PAA [1], [2]) i w innych sektorach działalności (Przegląd Techniczny [3]), jak również szerszego spojrzenia na proces ciągłego doskonalenia w działalności biznesowej (Wydawnictwo Naukowe PWN [4]). Niniejsza publikacja jest tylko jedną z prób zaprezentowania i spopularyzowania filozofii ciągłego doskonalenia na szerszym forum. Warto wspomnieć, że sektor jądrowy odegrał istotną rolę w praktycznym wdrażaniu tego podejścia.

Jedną z motywacji do podjęcia tego tematu na łamach Biuletynu były informacje dotyczące regularnego szkolenia pracowników dozorów jądrowych w zakresie metod analizy przyczyn źródłowych (RCA)² przez Komisję Europejską³ dla europejskich dozorów jądrowych⁴, a także szkolenia

planowanego przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) dla pracowników Gosatomnadzor – białoruskiego dozoru jądrowego. Warto zauważyć, że Białoruś finalizuje budowę pierwszej elektrowni jądrowej (Ostrowiec NPP). W opinii autora zainteresowanie organizacji dozorowych tą tematyką należy ocenić bardzo pozytywnie, kwestią zasługującą na uwagę jest zakres i jakość tego szkolenia. Należy pamiętać, że RCA jest tylko jednym (ważnym) elementem procesu ciągłego doskonalenia. Czy docenione zostało znaczenie wszystkich ważnych czynników mających wpływ na skuteczność OEF? W artykule znalazły się niektóre spostrzeżenia i uwagi autora na ten temat.

Wprowadzenie

Niepowodzenia i błędy zdarzają się nawet w perfekcyjnie zaprojektowanych, starannie wykonanych i zainstalowanych oraz prawidłowo eksploatowanych obiektach, dobrze zarządzanych systemach czy procesach. Problemy i zdarzenia wpływające negatywnie na uzyskiwane efekty realizowanego procesu produkcyjnego lub usługowego są praktycznie biorąc nieuniknione – urządzenia i narzędzia są zawodne, człowiek popełnia błędy, oddziaływania zewnętrzne utrudniają pomyślną realizację celów działalności. Umiejętność skutecznego rozwiązywania pojawia-

¹ Inne spotykane określenie to „doświadczenia eksploatacyjne” (przyp.red.).

² RCA – *Root Cause Analysis*.

³ European Commission, DG Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport, Petten.

⁴ Ściślej: dla europejskich organizacji dozorowych (NRA) i technicznego wsparcia (TSO) uczestniczących w wymianie danych eksploatacyjnych EJ w ramach tzw. *European Clearinghouse on NPP OEF*.

jących się problemów, w taki sposób, aby nie powtórzyły się więcej w przyszłości, jest jednym z ważnych czynników, które mogą zadecydować o powodzeniu prowadzonej działalności.

Dlatego nie należy zapominać, że różnorodne problemy czy trudności, zaobserwowane w trakcie realizacji procesu biznesowego, stanowią równocześnie źródło cennych informacji, które umożliwiają systematyczne poprawianie tego procesu przez wprowadzenie pozytywnych zmian, zarówno w środowisku, w jakim działamy, jak i w sposobie tego działania. Metoda **stopniowego poprawiania systemu** z uwzględnieniem wniosków wynikających z obserwacji zdarzeń i problemów operacyjnych (OEF) jest od dawna stosowana w inżynierii systemów. W działalności przemysłowej, która jest integralnie związana z ryzykiem dla zdrowia publicznego i środowiska, podejście to stało się ważnym elementem **inżynierii bezpieczeństwa**, która koncentruje się na poprawieniu stanu bezpieczeństwa i ochronie środowiska. Energetyka jądrowa jest jednym z typowych reprezentantów takiej działalności.

Wśród specjalistów zajmujących się inżynierią i zarządzaniem systemów [5] istnieje zgodna opinia, że metoda stopniowego poprawiania systemu/procesu oparta na obserwacjach operacyjnych powinna być podstawowym narzędziem stosowanym w programie doskonalenia przedsiębiorstwa/organizacji. Deming, znany inżynier i filozof amerykański, uważany za klasyka w dziedzinie zarządzania i inżynierii systemów, podkreślał dobitnie praktyczne znaczenie tego podejścia. W jego opinii „poprawa o 1% w 100 rzeczach jest bardziej skuteczna, mniej zaburzająca i trwalsza, niż poprawa o 100% w jednej rzeczy” [5].

Dokonywanie stopniowych ulepszeń uważa się za stosunkowo pewny i skuteczny sposób poprawiania procesu produkcyjnego lub usługowego [6]. Zasady stopniowego poprawiania są łatwiejsze do zrozumienia i mniej skomplikowane w porównaniu do zmian rewolucyjnych, takich jak restrukturyzacja (ang. *reengineering*). Wprowadzanie małych zmian sprzyja wytworzeniu atmosfery współpracy i poparcia wewnątrz organizacji, pozwala także utrzymać zainteresowanie kierownictwa. W dłuższej perspektywie podejście to umożliwi osiągnięcie znacznych korzyści, zapewniając równocześnie wysoki stopień zwrotu zainwestowanych nakładów.

Filozofia ciągłego doskonalenia

Systematyczne i umiejętne wykorzystanie naszych błędów i niepowodzeń jest istotą **filozofii ciągłego doskonalenia** (ang. *continuous improvement*). W podejściu tym **każde niepożądane zdarzenie** (problem operacyjny) jest uznany za **sposobność do ulepszeń**, do poprawienia procesu/systemu. Sposobnością taką może być każde spostrzeżenie, które pozwoli wyeliminować potencjalne zagrożenie lub szkodę i zapobiec wystąpieniu podobnych problemów w przyszłości. Działania naprawcze to odpowiednie zmiany

w procesie lub systemie. Mogą one dotyczyć każdego z istotnych elementów systemu – urządzeń, narzędzi, procedur, programu szkolenia personelu, rozwiązań odnoszących się do interfejsów człowiek-maszyna, sposobów komunikowania się, polityki nadzoru, zasad i przepisów czy alokacji środków rzeczowych i ludzkich.

W procesie stopniowego poprawiania należy wyróżnić dwa zasadnicze podejścia – **reaktywne i proaktywne**. W podejściu **reaktywnym** działania naprawcze są podejmowane w odpowiedzi na zdarzenia operacyjne, które doprowadziły do niepożądanych skutków – szkody dla zdrowia i życia ludzi, niepożądanych skutków środowiskowych czy strat natury ekonomicznej. W podejściu **proaktywnym** działania naprawcze mają na celu usunięcie niedoskonałości procesu (potencjalnych problemów), które w niekorzystnych okolicznościach mogłyby doprowadzić do niepożądanych skutków (awarii, wypadków).

Zdarzenia i problemy, które doprowadziły do znacznych negatywnych skutków (katastrofy, poważne awarie i wypadki) są z reguły przedmiotem wnikliwego badania, co pozwala na ujawnienie i usunięcie wielu nieprawidłowości systemu/procesu, ale w prawidłowo funkcjonującej organizacji problemy takie zdarzają się stosunkowo rzadko. Dlatego stanowią one stosunkowo skąpe źródło informacji o istniejących słabościach systemu. Co więcej, w wielu trudnych i kosztownych przedsięwzięciach zależy nam, aby nie zdarzył się nawet „pierwszy” poważny wypadek; wypadek taki może przesądzić o niepowodzeniu całego projektu.

Dlatego efektywny program ciągłego doskonalenia powinien wykorzystywać oba podejścia – **reaktywne** oparte na wnikliwym badaniu poważnych awarii i wypadków, pojawiających się stosunkowo rzadko, oraz **proaktywne** wykorzystujące informacje pozyskane z badania „drobnych” problemów lub incydentów, których skutki są nieznaczne z punktu widzenia celów przedsiębiorstwa/organizacji, a nawet takich, które nie wywołały jeszcze żadnych skutków (np. niebezpieczne stany obiektu czy niebezpieczne zachowania personelu). Zdarzenia i problemy tego typu są często określane jako prekursorzy awarii/wypadku, zdarzenia „przedwypadkowe”, zdarzenia „niedoszłe” (ang. *near-misses*).

Inną metodą poszukiwania przestrzeni potencjalnych ulepszeń jest systematyczne monitorowanie i analizowanie wybranych wskaźników efektywności lub bezpieczeństwa procesu (tzw. analiza trendów) [6]. W podejściu tym ujawnienie niekorzystnej zmiany wskaźników procesowych jest punktem wyjścia do poszukiwania przyczyn ich pogorszenia i podjęcia działań naprawczych pozwalających na eliminację niekorzystnych trendów. Podobną rolę spełniają też tradycyjne formy kontrolowania procesu – samoocena, okresowe przeglądy i audyty itp.

Idealny program zastosowania doświadczeń operacyjnych (OEF) realizujący filozofię ciągłego doskonalenia wykorzystuje wszystkie wspomniane wyżej źródła informa-

cji. W programie takim stosunkowo nieliczne zdarzenia/problemy są związane z poważnymi skutkami, takimi jak utrata życia lub zdrowia, negatywne efekty środowiskowe czy znaczne straty ekonomiczne. Najczęściej są to zdarzenia lub problemy, dla których istnieje prawny obowiązek zgłaszania. Są one szczegółowo badane w celu ustalenia przyczyn, zwykle przez zespół analityków. Z reguły, w odniesieniu do tych problemów są podejmowane pewne działania naprawcze. Problemy uznane za mniej istotne z punktu widzenia ich skutków (prekursory awarii lub wypadków) są również przedmiotem analiz przyczyn, ale tylko ich część jest przedmiotem działań naprawczych. Pozostałe odpowiednio sklasyfikowane i po zarejestrowaniu w odpowiedniej bazie danych stają się przedmiotem monitorowania i analiz trendu. Powtarzające się zdarzenia lub problemy są przedmiotem powtórnego badania przyczyn i odpowiednich działań naprawczych.

Proaktywny program wykorzystania doświadczeń operacyjnych ukierunkowany na stopniowe poprawianie procesu biznesowego (produkcyjnego lub usługowego) nie jest koncepcją nową, ale jej praktyczna realizacja napotyka wciąż jeszcze liczne trudności. Pionierami w praktycznym zastosowaniu tego podejścia były sektory przemysłowe uznane za obszary o wysokim poziomie ryzyka, takie jak przemysł chemiczny, lotnictwo czy energetyka jądrowa. W tych obszarach działalności filozofia ciągłego doskonalenia została zaakceptowana i lepiej lub gorzej wprowadzona w życie. W ciągu ostatnich kilkunastu lat podejmowane były również wysiłki zmierzające do rozszerzenia tej filozofii na inne obszary działalności biznesowej, zresztą nie zawsze uwieńczone pełnym sukcesem.

Podstawowe elementy procesu OEF

Skuteczna implementacja filozofii ciągłego doskonalenia w działalności biznesowej wymaga systematycznych i skoordynowanych działań zarówno ze strony kierownictwa organizacji, jak i innych uczestników (interesariuszy) procesu biznesowego. Proces efektywnego wykorzystania doświadczeń operacyjnych (OEF) musi zapewnić skuteczne zbieranie informacji dotyczących zdarzeń i problemów operacyjnych, ich przetwarzanie i analizę, redystrybucję wniosków z tej analizy w strukturze organizacji oraz implementację wynikających stąd zmian w systemie. W procesie tym można wyróżnić cztery główne etapy:

- (1) Rozpoznanie problemu
- (2) Analiza źródłowych przyczyn problemu
- (3) Identyfikacja i wybór środków naprawczych
- (4) Wdrożenie optymalnych rozwiązań.

Rozpoznanie problemu jest pierwszym etapem w procesie wykorzystania doświadczeń operacyjnych. W etapie tym problem musi zostać zidentyfikowany, zgłoszony, jasno zdefiniowany, a w wyniku tych działań zostaje sprecyzowany sposób wykorzystania potencjalnych wartości poznawczych. Niektóre ważne problemy i zdarzenia są

przedmiotem szczegółowych analiz zmierzających do ustalenia przyczyn i określenia najważniejszych środków naprawczych. Problemy i zdarzenia uznane za „mało istotne” nie są szczegółowo analizowane. Po przeprowadzeniu odpowiedniej klasyfikacji będą jednak w przyszłości przedmiotem monitorowania (analiz trendu).

Analiza przyczyn problemu/zdarzenia ma na celu znalezienie przyczyn, które będą stanowić punkt wyjścia do określenia najbardziej skutecznych środków naprawczych (tzw. przyczyn źródłowych) – przyczyn, które decydent (kierownictwo) jest w stanie kontrolować i których usunięcie wyeliminuje problem (zmniejszy prawdopodobieństwo powtórzenia się i/lub ograniczy skutki tego problemu). Na ich podstawie zostają określone możliwe środki naprawcze, spośród których wybiera się najważniejsze z punktu widzenia ważności rozpatrywanego problemu i możliwości ich praktycznej realizacji. Tak wybrane środki naprawcze zostają wdrożone. Ich skuteczność powinna być potwierdzona przez systematyczne obserwowanie efektów procesu (monitorowanie wskaźników procesu). Środki naprawcze, które okazały się nieskuteczne lub spowodowały inne problemy, są korygowane.

Proaktywny program OEF – korzyści i potencjalne problemy

Program OEF, realizujący opisaną wyżej filozofię ciągłego doskonalenia, zmierza do **usunięcia potencjalnych problemów, zanim doprowadzą one do niepożądanych skutków** (poważnych awarii, wypadków i związanych z tym strat). Na tym polega atrakcyjność tego podejścia. Johnson w publikacji nt. systemów rejestrowania „drobnych” incydentów operacyjnych (zdarzeń niedoszłych) [7] wymienia następujące korzyści ze stosowania takiego systemu:

- podejście takie pozwala zidentyfikować bariery, które okazały się skuteczne w warunkach zdarzeń niedoszłych (wskazując, dlaczego poważny wypadek nie wystąpił), dzięki czemu możliwe będzie wzmocnienie tych barier;
- dzięki wyższej częstotliwości „drobnych” incydentów badanie tych zdarzeń dostarcza danych wyjściowych umożliwiających przeprowadzanie analiz ilościowych, np. dotyczących względnych relacji określonych typów błędów czy uszkodzeń, takich jak błędy ludzkie, problemy systemowe czy niedociągnięcia związane z działalnością dozorową;
- rezultaty badania „drobnych” incydentów pomagają w identyfikacji zdarzeń powtarzających się i w eliminacji związanych z nimi wspólnych przyczyn;
- wykorzystanie wniosków z badania incydentów odgrywa pozytywną rolę w zwiększeniu zaangażowania personelu w działaniach zmierzających do poprawienia bezpieczeństwa;
- system zgłaszania incydentów sprzyja wymianie doświadczeń w ramach danego sektora, jak i między różnymi sektorami działalności;

- koszty związane z wdrożeniem i użytkowaniem programu wykorzystania doświadczeń operacyjnych są nieporównywalne z kosztami, jakie trzeba będzie ponieść w przypadku doprowadzenia do poważnego wypadku.

Według Johnsona [7] program OEF realizujący filozofię ciągłego doskonalenia może pomóc w alokacji ograniczonych środków w tych obszarach procesu, które w przeszłości okazały się najbardziej problematyczne. Innymi słowy, może on ukierunkować proces zarządzania ryzykiem, używając „rzeczywistych” danych niezawodnościowych, które mogą się diametralnie różnić od przewidywań producenta urządzeń. Program taki może być także użyty do oceny skuteczności w zarządzaniu bezpieczeństwem. Może on również dostarczyć informacji ilościowych, które pozwolą uniknąć stosowania subiektywnych ocen dotyczących „kultury bezpieczeństwa”, pojęcia niedostatecznie zrozumiałego dla „personelu produkcyjnego”. Zarządzanie bezpieczeństwem może być oceniane nie tylko w kategoriach zmniejszenia częstotliwości określonych incydentów, lecz również na podstawie zmniejszonej dolegliwości (skutków) tych zdarzeń z punktu widzenia bezpieczeństwa.

Johnson zwraca również uwagę na potencjalne problemy realizacyjne [7]. Oczywistym ograniczeniem podobnych programów są stosunkowo wysokie koszty związane z wdrożeniem i utrzymaniem takiego programu. Cele takiego programu mogą się okazać trudne do osiągnięcia – utrzymanie wysokiego zaangażowania personelu w działaniach zmierzających do poprawienia bezpieczeństwa może się nie udać, program może ulec degeneracji, ograniczając swoją funkcję do przypominania o problemach, które są powszechnie znane kierownictwu, ale wobec braku wystarczających motywacji nie będą rozwiązywane. Program nie będzie również skuteczny, jeżeli zostaną zastosowane doraźne środki naprawcze, które nie wyeliminują źródłowych przyczyn problemów. Przeszkodą w efektywnym wdrożeniu i użytkowaniu programu mogą być również problemy z wykształceniem inżynierów i menadżerów biorących czynny udział w programie.

Proaktywny program OEF w świetle wymagań i zaleceń IAEA

Znaczenie i sposób wykorzystania doświadczeń operacyjnych (OEF) w zapewnieniu bezpieczeństwa instalacji jądrowych zostały przedstawione w kilku dokumentach Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) z serii „*Safety Standards Series*”. Dokumenty te określają podstawowe zasady bezpieczeństwa, wymagania i zalecenia w odniesieniu do obiektów i przedsięwzięć związanych z ryzykiem radiologicznym.

Podstawowe zasady bezpieczeństwa (SF-1, „*Safety Fundamentals*”) [8] określają obowiązki operatora⁵ oraz orga-

nów państwa w zapewnieniu bezpiecznej eksploatacji obiektów jądrowych.

Operator obiektu ponosi pełną odpowiedzialność za zapewnienie bezpieczeństwa tego obiektu (SF-1, Zasada 1). Operator jest zobowiązany do przeprowadzania regularnej oceny bezpieczeństwa operacyjnego i implementacji wniosków z analizy doświadczeń operacyjnych (SF-1, Zasada 3). Bardziej szczegółowe wymagania dotyczące zadań operatora w procesie OEF są przedstawione w dokumencie NS-R-2 „*Safety of Nuclear Power Plants: Operation*” [9]. Zgodnie z tymi wymaganiami ocena bezpieczeństwa operacyjnego przez efektywne wykorzystanie doświadczeń operacyjnych powinna być przeprowadzana w sposób systematyczny i powinna obejmować:

- analizy zdarzeń o istotnych implikacjach dla bezpieczeństwa zmierzające do ustalenia przyczyn bezpośrednich i źródłowych, określenia środków naprawczych i ich wdrożenie, a także przekazanie odpowiednich informacji i wniosków personelowi EJ;
- pozyskiwanie informacji i wykorzystywanie wniosków z doświadczeń operacyjnych innych obiektów, a także uczestniczenie w wymianie informacji z innymi operatorami i organizacjami międzynarodowymi;
- identyfikację prekursorów wskazujących na stan obiektu zagrażający bezpieczeństwu;
- zachęcanie personelu do zgłaszania „zdarzeń niedoszłych” (ang. *near-misses*).
- uczestniczenie w wymianie doświadczeń operacyjnych z organizacjami odpowiedzialnymi za projektowanie i fabrykację urządzeń;
- gromadzenie danych operacyjnych potrzebnych do prowadzenia ilościowych analiz ryzyka.

Większość tych wymagań została powtórzona i uzupełniona w zaleceniach dotyczących okresowych przeglądów bezpieczeństwa elektrowni jądrowych (*Periodic Safety Review*) [10].

Organy państwa są odpowiedzialne za zapewnienie odpowiedniej infrastruktury administracyjno-prawnej, w tym niezależnego **dozoru jądrowego** (SF-1, Zasada 2). Obowiązki **dozoru jądrowego** zostały uściślone w zaleceniach NS-G-2.11 [11]. Zgodnie z tymi zaleceniami dozór jest odpowiedzialny nie tylko za kontrolowanie raportów z badania zdarzeń operacyjnych podlegających obowiązkowi zgłaszania przez operatora, lecz również za prawidłowe wdrożenie i użytkowanie całego systemu (programu) OEF.

Praktyczne zalecenia dotyczące tematyki OEF zostały przedstawione w dwóch dokumentach z serii IAEA-TECDOC [12], na temat wykorzystania zdarzeń mało istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa (ang. *low level events*) i tzw. zdarzeń niedoszłych (ang. *near-misses*), oraz [13] dotyczącego metod i narzędzi stosowanych w analizach przyczyn źródłowych (RCA).

⁵ Terminem „operator” określana jest organizacja eksploatująca obiekt jądrowy (przyp. red.).

Z dokumentów tych wynika, że filozofia ciągłego doskonalenia zaprezentowana we wstępnej części niniejszego artykułu jest spójna z koncepcją wykorzystania doświadczeń operacyjnych przedstawioną w ww. dokumentach IAEA. Warto jednak zwrócić uwagę na pewną subtelną różnicę w definicji „**prekursora awarii lub wypadku**”, tzw. zdarzenia niedoszłego (ang. *near-miss*) stosowanej w dokumentach IAEA [9], [12] i określenia „**sposobność do poprawienia procesu/systemu**” użytego w niniejszym artykule. IAEA wprowadza następującą definicję zdarzenia niedoszłego: „*Zajście lub zdarzenie, które mogłoby spowodować niepożądane skutki, ale dzięki sprzyjającym okolicznościom, nie spowodowało. Gdyby nie nastąpiła ingerencja w rozwój zdarzenia, albo towarzyszące okoliczności były nieco inne, to mogłoby ono doprowadzić do poważnych skutków negatywnych*”.

Definicja ta zwraca uwagę na szereg istotnych cech zdarzenia niedoszłego, ale jest nieprecyzyjna i trudna do praktycznego zastosowania, co może mieć negatywny wpływ na identyfikację i zgłaszanie takich zdarzeń/problemów. Jej niedoskonałość wynika stąd, że w wielu obszarach działalności przemysłowej, w których mamy do czynienia z wysokim poziomem ryzyka dla otoczenia, istniejące zabezpieczenia wykorzystują wiele rezerwujących się barier. W tej sytuacji uszkodzenie jednej lub dwóch barier prowadzi do degradacji rozbudowanego systemu zabezpieczeń, ale wciąż zaistniałe warunki mogą być bardzo „dalekie” od wywołania niepożądanych skutków. Pojawia się trudne pytanie: jakie kryteria należy stosować przy ocenie, czy zaistniała sytuacja powinna być uznana za prekursora poważnej awarii? Problem jest jeszcze trudniejszy, gdy decyzję o takiej czy innej kwalifikacji zdarzenia lub problemu ma podjąć osoba zgłaszająca problem, która niejednokrotnie nie jest w stanie ocenić zaistniałego ryzyka. Dlatego ważność zdarzenia może być łatwo przeceniona lub niedoceniona.

Phimister i współautorzy [14] zaproponowali wprowadzenie nowej definicji prekursora („zdarzenia niedoszłego”), która byłaby odpowiednio szeroka i łatwiejsza do stosowania przez praktyków: „*Sposobność do udoskonalenia działań zmierzających do zapewnienia bezpieczeństwa, zdrowia, oraz ochrony środowiska na podstawie sytuacji lub zdarzenia, które może doprowadzić do poważniejszych skutków*”.

Definicja ta jest łatwiejsza do zrozumienia, a także, co bardzo ważne, stwarza zachętę do identyfikacji i zgłoszenia zdarzenia/problemu. Zwraca uwagę, że zdarzenie jest sposobnością do poprawienia systemu lub procesu. Podkreśla potencjalną wartość zdarzenia-prekursora bez wchodzenia w dyskusyjną kwestię jego klasyfikacji. Tak właśnie zostało zdefiniowane pojęcie „zdarzenia niedoszłego” (ang. *near miss*) w filozofii ciągłego doskonalenia prezentowanej w niniejszym artykule.

Wyzwania i bariery behawioralne i organizacyjne

Od czego zależy skuteczność proaktywnego programu OEF? Jakie są główne wyzwania i bariery utrudniające wdrożenie takiego programu i jego efektywne wykorzystanie?

Wśród często podnoszonych problemów wymienia się: (i) stosunkowo mały udział pracowników w proaktywnej części programu, przejawiający się niewielką liczbą zdarzeń przez nich zgłaszanych, (ii) trudności z zapewnieniem wystarczających środków materialnych i ludzkich i ich racjonalną alokacją, a także (iii) niedostateczną efektywność wykorzystania informacji uzyskanych z analizy zgłaszanych zdarzeń, związaną najczęściej z niską jakością przeprowadzanych analiz przyczyn źródłowych lub ich brakiem. Podstawowe czynniki wpływające na zmniejszenie efektywności procesu wykorzystania zdarzeń są omówione niżej.

Czynnik ludzki – zaangażowanie, motywacje, postawy

Szerokie uczestnictwo pracowników w proaktywnej części programu jest jednym z ważnych czynników decydujących o skuteczności całego programu. Zapewnienie odpowiedniej intensywności zgłoszeń wymaga systematycznych i odpowiednio ukierunkowanych działań informacyjnych i szkoleniowych, a także przekonującej demonstracji korzyści osiągniętych w programie. Potencjalni uczestnicy programu muszą być przekonani o celowości zgłaszania i rozwiązywania problemów. Ważna jest również demonstracja czynnego zaangażowania kierownictwa.

Praktyka pokazuje [15], że mimo intensywnego szkolenia pracowników osiągnięcie dostatecznego **zrozumienia przez personel korzyści płynących z programu** nie zawsze się udaje. Może o tym świadczyć wysoki odsetek pracowników, którzy nie zgłosili nigdy żadnego zdarzenia niedoszłego. W elektrowniach objętych badaniem z udziałem autora [15] wynosił on 50–80%. Wymowny jest fakt, że wśród pracowników uczestniczących w zdarzeniach panowało przekonanie, że zgłoszenia powinien dokonać ich przełożony, a nie oni. Badania te wykazały, że liczba pracowników, którzy koncentrują się tylko na rozwiązaniu problemu (np. w ramach istniejącego systemu obsługi konserwacyjno-remontowej), ignorując poznawcze wartość zdarzenia, jest wciąż jeszcze stosunkowo wysoka.

Problemem jest również przełamanie naturalnego **oporu przed ujawnianiem błędów i nieprawidłowości** przez pracowników uczestniczących w zdarzeniu. Strach przed reperkusjami w związku z ujawnianiem problemów, wywołany niewłaściwą polityką dyscyplinarną i informacyjną, jest istotnym czynnikiem zmniejszającym udział pracowników w zgłaszaniu zdarzeń. Nie bez znaczenia są także naciski współpracowników zniechęcających do zgła-

szania problemów, a także brak motywacji do podejmowania takich działań.

Niezadowolające uczestnictwo w programie może być również, w pewnym stopniu, wywołane **niedoskonałościami organizacyjnymi systemu zgłaszania**, utrudniającymi identyfikację zdarzeń (np. ww. niejasności w definicji zdarzeń objętych systemem zgłaszania) lub zniechęcającymi do zgłaszania (np. skomplikowany sposób zgłoszenia czy istnienie kilku niezależnych systemów rejestracji zdarzeń/problemów, powodujących dezorientację uczestników programu [15]).

Dostępność środków materialnych i ludzkich

Istotnym wyzwaniem jest **zapewnienie odpowiednich środków materialnych i ludzkich**, niezbędnych do badania i rozwiązywania zwiększonej liczby zdarzeń/problemów. W programach, które w przeszłości koncentrowały się na działaniach reaktywnych, odpowiedzialność za analizy przyczyn i rozwiązanie problemu spoczywała w dużej mierze na wyspecjalizowanej jednostce organizacyjnej (komórce, sekcji) odpowiedzialnej za wykorzystanie doświadczeń operacyjnych. W programie o charakterze prewencyjnym, możliwości tej jednostki okazują się zwykle niewystarczające do zaspokojenia zwiększonych potrzeb analitycznych związanych z proaktywną częścią programu [15].

Wyjściem z tej sytuacji jest zmniejszenie obciążenia pracowników ww. jednostki, wyspecjalizowanych w analizie zdarzeń, poprzez scedowanie zadań związanych z badaniem mniej skomplikowanych zdarzeń/problemów na odpowiednio przeszkolony personel operacyjny (tzw. uprawomocnienie pracowników). W tym podejściu ww. komórka koncentruje się na badaniu mniej licznych zdarzeń/problemów istotnych dla bezpieczeństwa lub trudnych do zbadania i na działaniach koordynacyjnych oraz kontroli nad całym programem. Pomyślna realizacja tej koncepcji wymaga między innymi, aby na wszystkich poziomach przedsiębiorstwa (organizacji) była wystarczająca liczba pracowników, którzy uzyskali odpowiednie przeszkolenie w zakresie analizy przyczyn źródłowych (RCA) i aby byli oni właściwie wykorzystani⁶. Zaniechania i błędy w przeprowadzeniu odpowiednich zmian w strukturze organizacyjnej i programach szkolenia mogą być źródłem problemów utrudniających skuteczne zarządzanie programem i w efekcie ograniczających potencjalne korzyści z programu.

Racjonalne wykorzystanie ograniczonych środków wymaga również odpowiedniej selekcji zdarzeń/problemów pod względem ich ważności i dostosowania sposobu ich traktowania (zakresu badania, terminów i działań naprawczych) do ich ważności (priorytetu). Jedynie niewielka część zgłaszanych problemów jest przedmiotem szczegółowych analiz przyczyn zmierzających do określe-

nia właściwych środków naprawczych, pozostałe, po uprzedniej klasyfikacji, są jedynie przedmiotem monitorowania, którego celem jest sprawdzenie, czy podobne zdarzenia nie będą się powtarzały w przyszłości. Kryteria klasyfikacji zdarzeń/problemów pod względem ich ważności mają istotny wpływ na racjonalne wykorzystanie środków i pośrednio na efektywność całego programu.

Jeżeli znaczna liczba „drobnych” zdarzeń i problemów jest przedmiotem szczegółowego badania, to proces ich rozwiązania może się wydłużyć, co w praktyce powoduje zwykle zmniejszenie intensywności zgłoszeń. Z drugiej strony, zwiększenie liczby zdarzeń, co do których nie zostaną zastosowane żadne środki naprawcze, zaostrza **trudności ze skutecznym monitorowaniem zdarzeń** zmierzającym do wykrycia zdarzeń „powtarzających się”, tj. takich, które są wywołane wspólnymi przyczynami. Skuteczne wykrywanie takich zdarzeń wymaga określenia ich przyczyn (a przynajmniej dobrze zdefiniowanych kategorii przyczynowych) – czynność często zaniebdywana z uwagi na dodatkowe obciążenie zespołu analitycznego.

Utrudnieniem jest fakt, że klasyfikacja problemu pod względem jego ważności nie jest procesem dobrze określonym. Szczegóły dotyczące tego problemu znajdzie Czytelnik w następnym rozdziale dotyczącym aspektów metodologicznych.

Jakość przeprowadzanych analiz

Istotną przeszkodą w efektywnej realizacji celów programu jest utrzymująca się wciąż tendencja do **koncentrowania wysiłków na problemach ujawnionych w związku z poważnymi zdarzeniami** (wypadkami, awariami, znaczną utratą produkcji itp.), a niedocenień wartości poznawczych, jakie można uzyskać przez badanie „drobnych” incydentów, które nie są objęte obowiązkiem zgłaszania. Paradies [17] zwraca uwagę, że praktycznie biorąc, „**drobne” zdarzenia nie są analizowane**. W efekcie, stosowane są nieskuteczne środki naprawcze – pouczenie pracowników lub dodatkowe szkolenie. Nadużywane są środki administracyjne. Podobny stan rzeczy był obserwowany w elektrowniach objętych przeglądami, w których brał udział autor [15], [16].

Istotnym czynnikiem ograniczającym skuteczność działań naprawczych był **niedostateczny zakres analiz**. Opinie takie można znaleźć w wielu publikacjach. Adler i Hausman [18] stwierdzają, że w wyniku niezależnych analiz RCA przeprowadzonych przez Szwajcarski Dozór Jądrowy (HSK) dla 197 incydentów zgłoszonych przez szwajcarskie elektrownie jądrowe w 50% przypadków trzeba było zmienić klasyfikację przyczyn źródłowych. Z analiz tych wynikało, że źródłem problemów nie były uszkodzenia urządzeń, jak pierwotnie stwierdzono, lecz przyczyny związane z czynnikiem ludzkim. W raporcie OECD NEA

⁶ W elektrowniach amerykańskich liczba pracowników produkcyjnych wyszkolonych w metodach RCA wynosi średnio 40–50 pracowników na każdy blok jądrowy [22].

[19] podkreśla się, że RCA koncentruje się najczęściej na uszkodzeniach fizycznych (technicznych), pomijając przyczyny związane z szeroko pojętym czynnikiem ludzkim, a także słabościami natury organizacyjnej. Postępowanie takie ma wpływ na skuteczność zastosowanych środków naprawczych.

Podobne spostrzeżenia ma Forck [20], który opisuje próbę wyjaśnienia niekorzystnych trendów związanych z liczbą powtarzających się problemów w systemach ważnych dla bezpieczeństwa elektrowni jądrowej. Jedną z typowych przyczyn takiego stanu rzeczy był ograniczony zakres RCA – w wielu przypadkach badanie kończyło się na ustaleniu bezpośrednich przyczyn lub kategorii przyczynowych, co nie umożliwiało znalezienia skutecznych środków naprawczych. Ważną przyczyną tego problemu jest **postawa personelu** odpowiedzialnego za wykonanie analiz i rozwiązanie zgłoszonych problemów, a także ich przełożonych. W wielu przypadkach nacisk nie jest skierowany na określenie dobrych rozwiązań, ale na „zamknięcie sprawy” związanej ze zdarzeniem/problemem przy minimalnych środkach. Wielokrotnie takie postępowanie personelu odpowiedzialnego za wykonanie analiz i wdrożenie rozwiązań było przez kierownictwo aprobowane, a nawet nagradzane, ponieważ wpływało na poprawienie statystyk (zredukowanie listy prac w toku).

Trudności zmniejszające skuteczność programu związane ze stosowaniem istniejących narzędzi analitycznych omówione zostały w następnym rozdziale poświęconym aspektom metodologicznym.

Wyzwania i bariery metodologiczne

Skuteczna realizacja programu ciągłego doskonalenia, w którym wykorzystuje się szeroką gamę zdarzeń operacyjnych, wymaga stosunkowo znacznego wysiłku analitycznego związanego z badaniem i klasyfikacją zdarzeń. Odpowiednie metody i narzędzia analityczne są potrzebne, praktycznie biorąc, na wszystkich etapach procesu realizującego filozofię ciągłego doskonalenia – rozpoznania problemu, analizy przyczyn problemu i wyboru optymalnego rozwiązania.

W opinii specjalistów i praktyków dostępność niezbędnych metod i narzędzi jest wystarczająca do skutecznej realizacji takiego programu. Wśród specjalistów praktyków istnieją pewne kontrowersje dotyczące wyboru dostępnych metod [4], [6], [21], [27]. Uważa się jednak, że wybór metody analizy, czy określonego narzędzia analitycznego, nie jest czynnikiem krytycznym z punktu widzenia poprawności analiz i skuteczności podjętych działań naprawczych.

Obserwacje praktyków wskazują, że istotną przeszkodą przy rozwiązywaniu problemów operacyjnych jest raczej **nieprawidłowe użycie istniejących narzędzi lub brak odpowiednich analiz** [4], [16], [17]. Wybrane aspekty metodologiczne, które mają istotny wpływ na skuteczność

programów ciągłego doskonalenia, są omówione niżej w odniesieniu do poszczególnych etapów procesu badania i rozwiązywania problemu.

Ocena ważności problemu

Określenie ważności zdarzenia jest pierwszym etapem rozpoznania problemu, szczególnie istotnym w odniesieniu do programu, w którym zgłaszana jest znaczna liczba „drobnych” zdarzeń (problemów). Jak wspomniano wyżej, ważność problemu/zdarzenia decyduje o sposobie jego traktowania. Zasady i kryteria stosowane w tej klasyfikacji determinują zapotrzebowanie na środki związane z realizacją programu.

Jak wynika z praktyki, brakuje jasno zdefiniowanych kryteriów i odpowiednich instrumentów analitycznych pozwalających rozróżnić zdarzenia/problemy o wysokim i niskim priorytecie (ważnych i mniej ważnych) oraz protokołu regulującego postępowanie ze zdarzeniami o różnych priorytetach (termin i sposób wykonania analizy oraz potrzebne środki) [23]. Klasyfikacja problemu pod względem jego ważności dokonywana na etapie rozpoznania problemu nie jest procesem dobrze określonym. Jest obciążona znaczną dozą subiektywizmu. Pewne sformalizowanie i usystematyzowanie tego procesu, pozwalające ograniczyć skutki tego subiektywizmu, jest możliwe na podstawie opinii praktyków dotyczącej istotnych czynników decydujących o potencjalnym znaczeniu danego zdarzenia. Uważa się [23], że wysoki priorytet powinien być nadany, gdy zdarzenie mogło mieć bardzo poważne skutki, jest zdarzeniem powtarzającym się (lub elementem badania trendu) lub ma potencjalnie większą wartość poznawczą. Zasady klasyfikacji zdarzeń/problemów na potrzeby proaktywnego programu OEF zostały wyczerpująco omówione w publikacji [4].

Analiza przyczyn źródłowych (RCA)

Analiza przyczyn źródłowych (ang. *Root Cause Analysis, RCA*) jest kluczowym elementem procesu ciągłego doskonalenia. Determinuje ona znalezienie skutecznych środków naprawczych i przesądza o pomyślnej realizacji programu. Chociaż dogłębne badanie przyczyn przeprowadza się jedynie dla zdarzeń/problemów uznanych za priorytetowe, czynności te stanowią istotną część wysiłku analitycznego związanego z realizacją programu.

Niestety, analizy te nie są prowadzone w sposób właściwy. O niektórych problemach wspomniano wyżej w kontekście aspektów organizacyjnych i behawioralnych. Istotne znaczenie mają również problemy metodologiczne, wynikające głównie z nieumiejętnego stosowania dostępnych metod RCA. Należy również wspomnieć o integralnych ograniczeniach określonych metod lub narzędzi RCA, które mogą utrudnić dogłębną analizę, zapewniającą prawidłową identyfikację wszystkich przyczyn.

W opinii autora jednym z często napotykanych błędów jest koncentracja na jednej przyczynie, która miała doprowadzić do niepożądanego zdarzenia. Problem operacyjny (ang. *event-based*) ma z reguły wiele przyczyn, chociaż nie ze wszystkich zdajemy sobie sprawę. Wszystkie te przyczyny powinny stanowić punkt wyjścia do ustalenia i wdrożenia skutecznych środków naprawczych. Warto zauważyć, że znalezienie tych przyczyn nie jest ostatecznym celem naszych dociekań – to tylko pośredni etap w określeniu najwłaściwszego rozwiązania problemu. Im więcej przyczyn uda się ujawnić i usunąć, tym skuteczniejsze będą działania zmierzające do wyeliminowania podobnych problemów w przyszłości. Dodatkowym uzasadnieniem dla rozpatrywania zespołu przyczyn jest to, że żaden z realnie możliwych środków naprawczych nie jest skuteczny w stu procentach. Istotne znaczenie ma również zapewnienie swobody racjonalnego wyboru tych przyczyn, które będą przedmiotem działań naprawczych – działań, które najskuteczniej wyeliminują podobny problem w przyszłości, ale równocześnie takich, których praktyczna realizacja będzie łatwiejsza (szybsza, tańsza, przyjaźniejsza dla człowieka itp.).

Koncentrowanie się w tym procesie na jednej, „najważniejszej” przyczynie jest, z punktu widzenia działalności prewencyjnej, rażącym nieporozumieniem, niestety zbyt często spotykanym wśród menadżerów/właścicieli problemu. Na taki błąd zwracają również uwagę Gano [21] i Galley [24].

Tendencje takie można niestety zaobserwować nawet w opracowaniach poważnych instytutów – raport na temat analizy przyczyn katastrofy EJ Fukushima Dai-ichi, opublikowany przez EPRI rok po katastrofie [25], koncentruje się na jednej „fundamentalnej” przyczynie wypadku – „utracie systemów chłodzenia reaktora” na skutek „niedocenionej wielkości tsunami” uwzględnianej w założeniach projektowych EJ. Jest wprawdzie mowa o innych czynnikach, które „przyczyniły się” do „ekstremalnych wyzwań w wysiłkach dla utrzymania i/lub odzyskania chłodzenia”, ale ta jedna jest określona jako „fundamentalna”. Mapa przyczyn tego wypadku sporządzona przez autora [1] ujawniła 25 przyczyn, które stały się punktem wyjścia do poprawienia systemu (przyczyn „naprawialnych”).

Galley [24] wymienia również kilka innych błędów popełnianych często przez praktyków wykonujących analizy RCA:

- koncentrowanie się na „opisaniu problemu” (w formie sekwencji zdarzeń), które jest wprawdzie pomocne, ale nie może zastąpić „zrozumienia problemu”;
- rozpoczynanie analizy od dyskusji, „*co stanowi problem?*”, zamiast odwołania się do celów organizacji, których osiągnięcie zostało zagrożone w związku ze zdarzeniem/problemem;
- używanie pustych haseł i słów wytrychów (ang. *buzzwords*), które mają lepiej określić charakter przyczyny, takich jak „pierwotna” (*primary*), „wtórna” (*secondary*),

„systemowa” (*systemic*), „fundamentalna” (*fundamental*), „widoczna” (*apparent*), „przyczyniająca się” (*contributing*) itp., w sytuacji kiedy jedynym rozsądnym rozróżnieniem powinno być „przyczyna” albo „przypuszczalna przyczyna”, ta ostatnia jest hipotezą wymagającą potwierdzenia.

Autor spotykał się również z przypadkami takiego etykietowania przyczyn i jego skutkami. Na przykład, określenie przyczyny jako „niezwiązanej bezpośrednio ze zdarzeniem” powodowało niejednokrotnie zignorowanie tej przyczyny przy ustalaniu środków naprawczych [3].

Wspomniane wyżej problemy analityczne nie mają związku z wyborem określonej metody RCA. Należy jednak zwrócić uwagę, że skuteczna identyfikacja wszystkich przyczyn może być utrudniona w związku z ograniczeniami określonych metod RCA. Tak więc na przykład **metody wykorzystujące „zdarzeniowy model wypadku”**, bardzo często używane w sektorze jądrowym, koncentrujące się na zdarzeniach, czynnościach i błędach, preferują subiektywne myślenie przy definiowaniu sekwencji zdarzeń, co nie sprzyja identyfikacji wszystkich istotnych przyczyn. W opinii Leveson [26], [27] nie jest to tylko kwestia wyboru zdarzeń i końcowego punktu sekwencji, lecz również subiektywizm przy identyfikacji istotnych związków przyczynowych mających wpływ na przebieg wypadku. Ponadto, taki model wypadku nie pozwala na uwzględnienie nieliniowości systemu ani odwzorowania istniejących sprzężeń zwrotnych. Krytycy tych metod uważają [21], że z ich użyciem prawidłowe rezultaty są uzyskiwane w dużej mierze dzięki doświadczeniu używających je analityków, „mimo ograniczeń” samej metody.

Dyskusja dotycząca dostępnych metod i narzędzi wykracza poza zakres tego artykułu. Temat ten zasługuje na odrębną publikację. Czytelnik zainteresowany tą tematyką znajdzie obszernie omówienie wielu metod i narzędzi RCA w książce autora [4].

Identyfikacja i wybór środków naprawczych

Kwestia wyboru rozwiązań jest istotnym aspektem metodologicznym, na który warto zwrócić uwagę. Jak wspomniano wyżej, punktem wyjścia do wybrania najkorzystniejszych środków naprawczych jest prawidłowo przeprowadzona analiza pozwalająca na określenie wszystkich przyczyn problemu, co do których istnieją realne możliwości oddziaływania (tzw. przyczyn źródłowych). Istotnym warunkiem powodzenia jest określenie wszystkich potencjalnych rozwiązań (środków naprawczych), które mogą się przyczynić do usunięcia (lub zminimalizowania wpływu) każdej z określonych przyczyn źródłowych, a następnie przeprowadzenie oceny poszczególnych rozwiązań. Stosowane kryteria oceny biorą pod uwagę skuteczność, koszty, stosunek kosztów do efektów, trudności realizacji, skutki kulturowe związane np. z brakiem akceptacji projektowanych zmian itp. Ocena taka powinna umożliwić

wybór optymalnego rozwiązania problemu (na ogół – zespołu środków naprawczych).

Paradies i Unger [6] wskazują na trudności w realizacji tego etapu procesu wynikające z postaw i sposobów myślenia, a także kultury organizacyjnej. Stwierdzają oni, że często poszukiwanie rozwiązań nie jest poprzedzone starannym ustaleniem źródłowych przyczyn problemu. Zwraca się uwagę, że ludzie decydujący o wyborze rozwiązania problemu mają ograniczony, często krótkowzroczny punkt widzenia. Istotną przeszkodą jest również brak autentycznego zaangażowania ze strony menadżerów, aby rozwiązać problem.

Decydenci koncentrujący się na jednej przyczynie, uznanej za najistotniejszą, pomijają wiele istniejących sposobności do poprawienia systemu. Warunkiem skutecznej poprawy systemu jest uwzględnienie wielu uwarunkowań przyczynowych. Tylko takie podejście pozwala zapobiec wypadkom, których skutki mogłyby być znacznie poważniejsze, niż problem stanowiący przedmiot badania.

Przy określaniu środków naprawczych na podstawie badania zdarzeń-prekursorów (zdarzeń niedoszłych) warto uwzględnić specyficzne właściwości tego zdarzenia. Phimister i współpracownicy [23] proponują, aby zwrócić uwagę na dwa ważne elementy takiego zdarzenia: najbardziej prawdopodobny scenariusz wypadku (A), do którego mogłoby doprowadzić zdarzenie-prekursor (N), oraz dodatkowe warunki lub zdarzenia (B), które musiałyby zajść, aby zaistniał taki wypadek. Te trzy elementy pozostają w relacji logicznej $A \rightarrow N \rightarrow B$. W rozpatrywanym zdarzeniu niedoszłym (N) warunki i zdarzenia (B) nie wystąpiły, dzięki czemu zdarzenie było mniej dotkliwe w skutkach niż potencjalnie możliwe (A). To między innymi skuteczne działanie barier, które w badanym konkretnym przypadku nie zawiodły. Przy wyborze środków naprawczych należy dążyć zarówno do zmniejszenia prawdopodobieństwa zdarzenia niedoszłego (N), jak i wystąpienia warunków i zdarzeń (B), przez wzmocnienie istniejących barier (patrz Johnson [7]) lub przez dodanie nowych. Phimister [23] zwraca uwagę, że możliwe jest również znalezienie takich środków, które zapewnią zmniejszenie prawdopodobieństwa jednoczesnego wystąpienia zdarzenia niedoszłego (N), oraz dodatkowych warunków i zdarzeń (B), które mogły przesądzić o wypadku (A).

Ważnym elementem procesu rozwiązania problemu jest ocena możliwych środków naprawczych, pod względem ich poprawności, skuteczności, a także realnych możliwości ich wdrożenia. Ocena taka stanowi podstawę do wyboru optymalnego rozwiązania problemu, które zapewni rozsądny kompromis osiągniętych korzyści (poziomu bezpieczeństwa) i wydatkowanych środków. Metody i kryteria, które mogą ułatwić dokonanie takiego wyboru, są dostępne w literaturze [28].

Energetyka jądrowa jest jedną z niewielu dziedzin działalności inżynierskiej, w której zostały pomyślnie

wdrożone probabilistyczne metody oceny bezpieczeństwa (PSA). Modele PSA mogą być przydatne do oceny skuteczności rozwiązań (środków naprawczych) proponowanych w programie OEF. Warto zauważyć, że w Stanach Zjednoczonych obserwuje się zwiększenie roli tego podejścia w działaniach regulacyjnych.

Monitorowanie zbioru zdarzeń

Monitorowanie nagromadzonego zbioru zdarzeń i problemów jest ważnym elementem programu OEF, szczególnie gdy program ten jest ukierunkowany na działania prewencyjne. Informacje o zdarzeniach i problemach odpowiednio uporządkowane są przechowywane w bazie danych, której struktura i zawartość jest przystosowana do potrzeb tego programu.

Informacje zgromadzone w tej bazie danych powinny umożliwić dwie ważne funkcje:

- ułatwienie identyfikacji powtarzających się zdarzeń, istotne przy określaniu ważności (priorytetu) problemów zgłaszanych i rejestrowanych w bazie danych, wykonywanym na etapie rozpoznania zdarzenia/problemu;
- całościowe badanie nagromadzonego zbioru zdarzeń/problemów, zmierzające do identyfikacji obszarów zwiększonego ryzyka, które może dostarczyć dodatkowych informacji o słabościach istniejącego systemu/procesu, ułatwiając decyzje związane z jego ulepszeniem.

Identyfikacja i rozwiązanie problemów wywołanych wspólnymi przyczynami, tzw. zdarzeń powtarzających się (ang. *recurrent events*) jest istotnym elementem programu OEF, szczególnie gdy program ten jest ukierunkowany na działania prewencyjne. W takim przypadku zgromadzony zbiór zdarzeń/problemów zawiera znaczną liczbę „drobnych” problemów, które nie były przedmiotem działań naprawczych i dla których nie przeprowadzono szczegółowego badania RCA. Przy rozpoznawaniu nowych zdarzeń zgłaszanych w programie OEF zbiór zdarzeń/problemów jest przeszukiwany w celu sprawdzenia, czy dane zdarzenie/problem nie jest zdarzeniem powtarzającym się. Idealnym sposobem identyfikacji takich zdarzeń jest porównanie odpowiadających im przyczyn. Stosowanie takiego kryterium wymagałoby, na etapie rozpoznania, przeprowadzenia badania przyczyn, nie tylko dla zdarzeń wymagających zastosowania środków naprawczych, ale również dla „drobnych” zdarzeń, dla których ich stosowanie nie wydaje się potrzebne. W praktyce takie podejście ma ograniczone zastosowanie, ze względu na zwiększenie wysiłku analitycznego. Akceptowalnym substytutem jest odpowiednia, dostosowana do potrzeb, klasyfikacja zdarzeń, pozwalająca na wytypowanie zdarzeń „podobnych”, które, w razie potrzeby, będą przedmiotem dalszego uściślenia.

Całościowe badanie nagromadzonego zbioru zdarzeń/problemów, zmierzające do identyfikacji obszarów

zwiększonego ryzyka, jest ważnym uzupełnieniem szczegółowych analiz pojedynczych zdarzeń i problemów, stanowiących główne źródło informacji wykorzystywanych w programie. Badanie takie może dostarczyć dodatkowych informacji o słabościach istniejącego systemu/procesu, ułatwiając decyzje związane z jego ulepszeniem.

Badanie takie może być przeprowadzone z użyciem sformalizowanych metod grupowania danych w tzw. klastry. Badanie takie pozwala ustalić relacje pomiędzy zdarzeniami, często nieoczywiste, i scharakteryzować ich naturę. Znaczna liczba „podobnych” zdarzeń wskazuje na istnienie obszarów zwiększonego ryzyka, może także świadczyć o tym, że zastosowane wcześniej rozwiązania są nieskuteczne [3]. Grupowanie takie może pomóc w identyfikacji globalnych problemów, a także ułatwić znalezienie bardziej skutecznych środków naprawczych. Metody analityczne umożliwiające niekontrolowane przez analityka (komputerowe) badanie zbioru są dostępne w literaturze [29]. Badanie takie jest bardzo wygodne w przypadku, gdy mamy do czynienia z dużymi, złożonymi zbiorami danych, cechy typowej dla programu o charakterze proaktywnym, w którym liczba zarejestrowanych zdarzeń (problemów) może być znaczna, szczególnie gdy badanie dotyczy zbiorów wykraczających poza poziom lokalny (pojedynczej organizacji, przedsiębiorstwa).

Monitorowanie zbioru zdarzeń/problemów w związku z ustalaniem ważności (priorytetu) problemu, jak i okresowe badania całego zbioru zdarzeń/problemów wymagają opracowania odpowiednich **systemów klasyfikacji zdarzeń** (problemów), bez których zastosowanie ww. sformalizowanych metod grupowania zdarzeń nie jest możliwe. Stosowane w praktyce systemy klasyfikacji umożliwiają grupowanie danych według kategorii przyczynowych, a także według innych cech problemu (łatwiejszych do ustalenia na etapie wstępnego rozpoznania problemu), takich jak charakterystyki bezpośrednich (potencjalnych) skutków czy parametry sytuacyjne lub organizacyjne związane ze zdarzeniem. Badania statystyczne dotyczące profilu zbioru mogą dostarczyć cennych informacji o słabych punktach systemu i pomóc w racjonalnym wykorzystaniu środków. Badanie czasowych zmian wybranych parametrów procesu (analiza trendu) umożliwia wczesne wykrywanie niestabilności i odchyłeń, które mogą wskazywać na zaistnienie istotnych zmian w systemie. Wykorzystanie tych informacji może potwierdzić skuteczność wdrożonych środków naprawczych lub ostrzec o ich ograniczonej skuteczności.

Role operatora EJ i dozoru jądrowego w realizacji programu OEF

Operator elektrowni jądrowej ponosi pełną odpowiedzialność za zapewnienie bezpieczeństwa operacyjnego. Wdrożenie odpowiedniego programu OEF i efektywne wykorzystanie tego programu zgodnie z aktualnym stanem

wiedzy i zasadami dobrej praktyki jest jego obowiązkiem. Odnośne wymagania i zalecenia uznane przez społeczność międzynarodową (omówione wyżej) są przedstawione w dokumentach IAEA [8]–[11].

Prawidłowo skonstruowany program ciągłego doskonalenia wykorzystujący obserwacje operacyjne powinien zawierać dobrze zdefiniowany proces OEF oraz system zgłaszania, analizowania i monitorowania problemów operacyjnych. Niezbędny jest zespół zarządzający programem, odpowiednie zasoby materialne i kadrowe, odpowiednie programy szkolenia dla menadżerów i pracowników wykonawczych, a także system audytowania programu. Przedstawienie szczegółowych informacji na temat wdrożenia i utrzymania takiego programu wykracza poza zakres tego artykułu. Bardziej szczegółowy opis takiego programu znajdzie Czytelnik w publikacji autora [4].

Nie wdając się w rozważania szczegółowe, należy z całą mocą stwierdzić, że powodzenie programu OEF realizującego filozofię ciągłego doskonalenia wymaga od operatora systematycznego wysiłku związanego z organizacją programu i jego zarządzaniem. Instrumenty umożliwiające skuteczne zarządzanie muszą brać pod uwagę czynniki psychologiczne, mające wpływ na zachowania ludzi biorących udział w programie, takie jak wartości, motywacje, zaangażowanie. Wytworzenie odpowiedniej atmosfery stymulującej szeroki udział pracowników w programie stanowi trudne wyzwanie.

Ważne jest również zapewnienie odpowiednich zasobów materialnych i kadrowych. Szkolenie personelu powinno dotyczyć zarówno pracowników zarządzających programem, jak i pracowników uczestniczących w programie. Umiejętność posługiwania się narzędziami analitycznymi (takimi jak metody i narzędzia RCA) jest bardzo ważna, lecz nie należy lekceważyć właściwego rozumienia celów i zasad programu ciągłego doskonalenia, wykształcenia odpowiednich postaw i sposobów myślenia, a także kultury organizacyjnej wspierającej ten proces.

Dozór jądrowy ma kilka ważnych obowiązków dotyczących programu OEF.

W pierwszym rzędzie dozór jądrowy jest odpowiedzialny za wdrożenie przez operatora EJ odpowiedniego programu wykorzystującego obserwacje operacyjne (OEF) i za prawidłowe posługiwanie się tym programem dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji obiektu. Dozór powinien systematycznie nadzorować wykorzystanie tego programu.

Obowiązkiem dozoru jest zapewnienie, aby metody i podejścia stosowane przez operatora w procesie OEF były zgodne z aktualnym stanem wiedzy w tej dziedzinie. Dotyczy to zarówno stosowanych metod analitycznych, jak i kryteriów zgłaszania zdarzeń (zapewnienie prewencyjnego charakteru programu). Obowiązkiem dozoru jest ustanowienie odpowiedniej struktury organizacyjno-prawnej, która spowoduje podjęcie przez operatora skutecz-

nych działań i środków zapobiegających powtarzaniu się niepożądanych zdarzeń.

Działania regulacyjne powinny obejmować kontrolę prawidłowości analiz RCA przeprowadzanych dla poszczególnych zdarzeń istotnych dla bezpieczeństwa (objętych obowiązkiem zgłaszania).

Dozór jest odpowiedzialny za prowadzenie regularnej oceny raportów operatora z badania zdarzeń istotnych dla bezpieczeństwa, aby potwierdzić, że ustalone przyczyny i środki naprawcze są akceptowalne z punktu widzenia bezpieczeństwa. Wnioski z tych raportów powinny być wykorzystywane w planowaniu jego działań regulacyjnych.

Dozór jądrowy powinien sprawować nadzór nad badaniem i rozwiązywaniem problemów istotnych dla bezpieczeństwa, w których sytuacje konfliktowe natury społecznej lub menadżerskiej utrudniają znalezienie akceptowalnych rozwiązań. Źródłem takich konfliktów są zwykle problemy związane z kulturą w strukturze organizacji.

Szkolenie pracowników dozoru nt. OEF i RCA

Jak wspomniano na wstępie do tego artykułu, regularne kursy szkoleniowe dla pracowników dozoru jądrowego dotyczące metod i narzędzi RCA były organizowane od roku 2014 przez Komisję Europejską (KE) kilkakrotnie. Szkolenie nt. RCA dla inspektorów dozoru białoruskiego jest planowane przez IAEA w czerwcu 2018 roku. W świetle obowiązków i zadań, jakie nakładają na dozór jądrowy aktualne przepisy, podwyższenie kwalifikacji pracowników dozoru w efektywnym wykorzystaniu doświadczeń operacyjnych OEF jest bardzo potrzebne.

Szkolenie oferowane przez KE koncentruje się na wybranej (najczęściej stosowanej) metodzie RCA – metodzie wykorzystującej zdarzeniowy model wypadku i zdefiniowany z góry schemat logiczny. W metodzie tej badane zdarzenie zostaje przedstawione w formie sekwencji zdarzeń (z użyciem „*Event and Causal Factor Chart*”). Aby określić przyczyny źródłowe, istotne elementy tej sekwencji są następnie badane szczegółowo z użyciem schematu logicznego (drzewa błędów) „*Management Oversight and Risk Tree*” (MORT). W razie potrzeby są również stosowane narzędzia pomocnicze (używane bardzo często w kombinacji z metodami tego typu) – Analiza Barrier („*Barrier Analysis*”), Analiza Zmian („*Change Analysis*”) i Analiza Zadania („*Task Analysis*”) – ułatwiające znalezienie przyczyn źródłowych.

MORT postępuje się dość rozbudowanym modelem logicznym – struktura drzewa MORT reprezentuje ponad 1500 zdarzeń podstawowych, formularz MORT używany przy analizie z trudem mieści się na arkuszu A1 [4]. Analizy z użyciem tej techniki są zwykle wykonywane przez analityków odpowiednio wyszkolonych. Metoda ta może znaleźć zastosowanie do analizy zdarzeń istotnych dla bezpieczeństwa (objętych obowiązkiem zgłaszania)

wykonywanej przez operatora lub niezależnych analiz wykonywanych przez personel dozorowy, ale najprawdopodobniej nie będzie stosowana przez operatora do badania drobnych zdarzeń (niebezpiecznych warunków i zachowań, prekursorów, zdarzeń niedoszłych), jakie są analizowane w proaktywnym programie OEF, a taki powinien być wdrożony przez operatora, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy i zasadami dobrej praktyki (patrz rozdział nt. wymagań i zaleceń IAEA).

Wydaje się, że ze względu na obowiązki nadzoru nad realizacją programu OEF przez operatora, szkolenie pracowników dozoru nie powinno ograniczać się do tej jednej metody. Nie do zlekceważenia są również ograniczenia dotyczące metod wykorzystujących zdarzeniowy model wypadku (patrz rozdział dotyczący aspektów metodologicznych). Szkolenie pracowników dozoru powinno obejmować również „prostsze” metody RCA, jakie z pewnością będą stosowane przez operatora w odniesieniu do „drobnych” zdarzeń, takie jak na przykład dedukcyjna metoda mapy przyczyn. Zalety tej metody ilustrują przykłady prezentowane w innych publikacjach autora [1]–[4].

Czy taki program szkolenia odpowiada potrzebom proaktywnego programu OEF i roli dozoru w wykorzystaniu takiego programu przez operatora? Czy pracownicy dozoru, z racji sprawowania nadzoru nad realizacją takiego programu, nie powinni mieć szerszego spojrzenia na specyfikę związaną z realizacją proaktywnej części programu?

Wydaje się, że specyfika proaktywnego programu OEF została zignorowana przez Organizację Kontraktującą (EC DG, JRC, Petten) już na etapie formułowania warunków kontraktu na przeprowadzenie szkolenia. Wymaganie dotyczące stosowania softwaru wspierającego proces RCA (*computer-aided tool*) preferowało firmy doradcze, które specjalizują się w promowaniu własnej metody RCA; tylko takie firmy dysponują własnym oprogramem dla potrzeb RCA. Tak na przykład firma System Improvement Inc. oferuje pakiet *TapRoot*, firma Conger-Elsea Inc. – MORT, firma ThinkReliability – *Cause Mapping*. Zresztą *Cause Mapping* nie wymaga stosowania żadnego specjalnego softwaru (*MsExcel* jest wystarczającym narzędziem do sporządzenia mapy), więc formalnie kontraktor proponujący zastosowanie tej metody nie spełniałby warunków przetargu.

Warunki kontraktu dotyczącego szkolenia dla białoruskiego dozoru również budzą pewne zastrzeżenia – szkolenie pracowników dozoru ma koncentrować się wyłącznie na „ocenie raportów z badania zdarzeń” objętych obowiązkiem zgłaszania do dozoru. Nie ma tu miejsca na szkolenie dotyczące aspektów metodologicznych specyficznych dla proaktywnego programu OEF. Kwalifikacje i umiejętności pracowników dozoru niezbędne do sprawowania skutecznego nadzoru nad wdrożeniem i efektywnym wykorzystaniem takiego programu przez

operatora nie są uwzględnione. Należy mieć nadzieję, że pomimo to przyszły kontraktor uwzględni w programie szkolenia ww. potrzeby.

W podsumowaniu warto zastanowić się, czy tak wyszkoleni specjaliści będą w stanie sprostać wszystkim wyzwaniom, związanym z wykorzystaniem „drobnych” zdarzeń i problemów zasygnalizowanych w tym artykule?

Czy zmienimy praktykę, w której koncentrujemy się na jednej, „najbardziej źródłowej” przyczynie problemu, przestaniemy etykietować przyczyny, ignorując te, które nie miały znaczenia „z punktu widzenia konkretnego/badanego zdarzenia”, zapominając, że zapobieganie poważniejszym wypadkom wymaga eliminowania również takich przyczyn?

Czy nauczymy się skutecznie monitorować „drobne” zdarzenia, które nie były przedmiotem działań naprawczych, wypracujemy zasady rozsądnego klasyfikowania zdarzeń i problemów, ułatwiającego wykrywanie powtarzających się problemów i eliminowanie wspólnych przyczyn, które je wywołują?

Czy zrewidujemy przywiązanie do stosowanych od kilkudziesięciu lat, „wypробowanych” metod RCA, które mają szereg niedogodności utrudniających znalezienie dobrych rozwiązań (rozeznaczonych i sygnalizowanych przez praktyków)?

Czy będziemy dostrzegać i wykorzystywać doświadczenia organizacyjne i osiągnięcia metodologiczne w zakresie OEF z innych sektorów działalności?

Notka o autorze

Dr inż. Maciej Kulig – absolwent Wydziału Mechaniczno-Konstrukcyjnego Politechniki Warszawskiej, wieloletni pracownik byłego IBJ, później Instytutu Energii Atomowej w Świerku, a następnie zespołu dozoru jądrowego w CLOR, kierownik wydziału analiz w Państwowym Inspektoracie Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej i departamencie GIDJ PAA, ekspert MAEA, konsultant w firmie Enconet Consulting GmbH, Kolingasse 12/7, 1090 Vienna, Austria, w zakresie specjalności: energetyka jądrowa, bezpieczeństwo jądrowe, zarządzanie ryzykiem.

Literatura

1. M. Kulig, *Analiza przyczyn awarii w japońskiej elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi w marcu 2011 roku*, Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki, 2/2015.
2. M. Kulig, *Incydent radiologiczny w EJ Paks w kwietniu 2003 roku – analiza przyczyn*, Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki, 1/2016.
3. M. Kulig, *Katastrofa kolejowa pod Szczekocinami – Czy wystarczająco skorzystaliśmy z tej lekcji?*, „Przegląd Techniczny”, dwutygodnik nr 16–17, 18, 19–20, 2017.
4. M. Kulig, *Doskonalenie przedsiębiorstw. Kryzys drogą do sukcesu*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2016.
5. W.E. Deming, *Out of the Crisis*, MIT Press, Cambridge 1986.
6. M. Paradies, L. Unger, *TapRooT, The system for Root Cause Analysis, Problem Investigation, and Proactive Improvement*, System Improvements Inc., Knoxville 2000.
7. C.W. Johnson, *A Handbook of Incidents and Accidents Reporting*, Glasgow University Press, 2003.

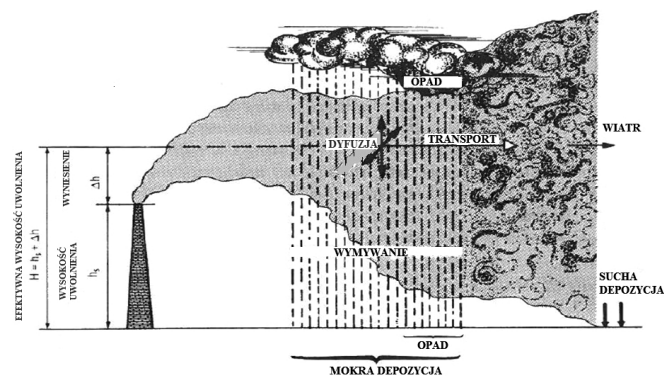
- http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/book/C_Johnson_Accident_Book.pdf
8. International Atomic Energy Agency, „Fundamental Safety Principles”, Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna 2006.
 9. International Atomic Energy Agency, “Safety of Nuclear Power Plants: Operation”, *Safety Standards Series No. NS-R-2*, IAEA, Vienna 2000.
 10. International Atomic Energy Agency, “Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants”, *Safety Guide NS-G-2.10*, IAEA, Vienna 2003.
 11. International Atomic Energy Agency, “A System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations – Safety Guide”, *Safety Standards Series No. NS-G-2.11*, IAEA, Vienna 2006.
 12. International Atomic Energy Agency, “Trending of low level events and near misses to enhance safety performance in nuclear power plants”, IAEA TECDOC – 1477, IAEA, Vienna 2005.
 13. International Atomic Energy Agency, “Root Cause Analysis Following an Event at a Nuclear Installation: Reference Manual”, IAEA-TECDOC-1756, IAEA, Vienna 2015.
 14. J.R. Phimister i in., *Near-miss system analysis: Phase I, Risk Management and Decision Processes Center*, The Wharton School of the University of Pennsylvania, 2000.
<http://opim.wharton.upenn.edu/risk/wp/nearmiss.pdf>
 15. M. Kulig i in., *Analysis of Near-Miss Reporting Practice and the Related Human Factor at Slovak NPPs*, Project DTI NSP/03-S10, Task 1 Report, Prepared for UK Department of Trade and Industry/British Nuclear Group, Enconet Consulting, Report ENCO-IR-(05)-05, Vienna 2005.
 16. M. Kulig i in., *Evaluation of the Near-Miss Reporting and Analysis Systems at Slovak NPPs*, Project DTI NSP/03-S10, Task 2 Report, Prepared for UK Department of Trade and Industry / British Nuclear Group, Enconet Consulting, Report ENCO-IR-(05)-01, Vienna 2005.
 17. M. Paradies, *What's Wrong with Root Cause Analysis in the Nuclear Industry*, w: 10th Annual Human Performance/Root Cause/Trending Conference, Savannah 2004.
 18. H.P. Adler, W. Hausman, *Analysis of human factors in incidents reported by Swiss nuclear power plants to the Inspectorate*, w: Technical Committee Meeting Ittingen 1995.
 19. OECD Nuclear Energy Agency, *Identifying and Overcoming Barriers to Effective Consideration of Human and Organisational Factors in Event Analysis and Root Cause Analysis*, NEA/CSNI/R(2010)8.
 20. F. Forck, *Adverse Trend of Recurring Problems*, w: 7th Annual Human Performance/Root Cause/Trending Conference, Baltimore 2001.
 21. D.L. Gano, *Apollo Root Cause Analysis – A New Way of Thinking*, Apollonian Publications, wyd. 2, Yakima, Washington 2003.
 22. Callaway NPP, *Results of Benchmarking from 14 Single Unit NPPs*, w: 5th Annual Human Performance/Root Cause/Trending Conference, Kansas City 1999.
 23. J.R. Phimister i in., *Near-Miss Incident Management in the Chemical Process Industry*, w: „Risk Analysis” 2003, t. 23, nr 3.
 24. M. Galley, „Six Common Errors when Solving Problems” ThinkReliably article <https://blog.thinkreliability.com/>
 25. Electrical Power Research Institute, *Fukushima Dai-ichi Accident – Technical Causal Factor Analysis*, EPRI Report No. 1024946, Palo Alto, CA, March 2012.
 26. N.G. Leveson, *A New Accident Model for Engineering Safer Systems*, „Safety Science” 2004, t. 42, nr 4.
 27. N.G. Leveson, *Evaluating Accident Models using Recent Aerospace Accidents, 2001*, <http://sunnyday.mit.edu/accidents>
 28. U.S. Department Of Energy, *Guidebook to Decision-Making Methods*, WSRC-IM-2002-00002, 2001.
<https://pdfs.semanticscholar.org/ced7/8cc468a1032f18165651a48f71e83f6a111a.pdf>
 29. Z. Huang, *Extensions to the k-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values*, <http://www.cs.ust.hk/~qyang/Teaching/537/Papers/huang98extensions.pdf>

Pesymistyczne warunki meteorologiczne w przypadku zdarzenia radiacyjnego z uwolnieniem skażeń promieniotwórczych do atmosfery

Adam Jaroszek
Państwowa Agencja Atomistyki

Wstęp

W przypadku zdarzeń radiacyjnych z uwolnieniem skażeń promieniotwórczych do powietrza atmosferycznego należy uwzględnić ewentualność wystąpienia szczególnych warunków meteorologicznych potęgujących narażenie ludności. Warunki te możemy określić jako pesymistyczne z punktu widzenia bezpieczeństwa jądowego, ponieważ powodują wzrost dawek (indywidualnych lub kolektywnych), uwzględniając wszystkie drogi narażenia, to jest: bezpośrednie promieniowanie, inhalacje skażonego powietrza, spożycie skażonej żywności oraz wody. Podstawowymi elementami meteorologicznymi determinującymi rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze są: transport przez **wiatr** (pionowy oraz poziomy), **pionowy gradient temperatury** oraz **opady atmosferyczne** (mokra depozycja).



Rys. 1. Proces rozprzestrzeniania się skażeń w atmosferze [2].

Większość uwolnień ma miejsce w dolnej warstwie atmosfery, w troposferze. Warstwa ta charakteryzuje się dużą dynamiką, elementy meteorologiczne ulegają ciągłym zmianom w czasie, kształtując pogodę. Transport w niej ma głównie charakter turbulentny, przez co rozumiemy wymianę masy i pędu pomiędzy poszczególnymi warstwami przepływającego powietrza. Ma to zasadniczy wpływ na procesy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pasywnych¹ w atmosferze. Znaczną część troposfery obejmuje tzw. planetarna warstwa graniczna (ang. *Planetary Boundary Layer*), w której zachodzą procesy związane z bezpośrednim oddziaływaniem powierzchni ziemi. Wysokość tej warstwy mieści się w zakresie 100–2000 m i jest uzależniona od wartości parametrów dotyczących:

- nagrzania podłoża (kształtowanie turbulencji termicznej),
- prędkości wiatru (kształtowanie turbulencji mechanicznej),
- szorstkości powierzchni (kształtowanie turbulencji mechanicznej).

Przebieg procesu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń promieniotwórczych jest wypadkową wielu czynników meteorologicznych, kształtujących aktualnie panującą pogodę. Jednak możemy rozpatrzyć poszczególne czynniki meteorologiczne pod kątem pesymizacji narażenia w przypadku awarii jądowych. Zagadnienie to jest także istotne z punktu widzenia prawa, które nakazuje uwzględnienie „niekorzystnych warunków meteorologicznych” przy szacowaniu dawek w rejonie obiektu jądowego². Sprawą istotną jest również uwzględnienie pesymistycznych

¹ Zanieczyszczenie pasywne – zanieczyszczenia dobrze mieszające się z powietrzem atmosferycznym i niewchodzące z nim w reakcje.

² Art. 36f rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych zasad tworzenia obszaru ograniczonego użytkowania wokół obiektu jądowego ze wskazaniem ograniczeń w jego użytkowaniu.

warunków w planowaniu awaryjnym, kiedy to niekorzystne warunki mogą się przyczynić do powstania obszarów objętych działaniami interwencyjnymi³ lub utrudnić przeprowadzenie akcji ratunkowej.

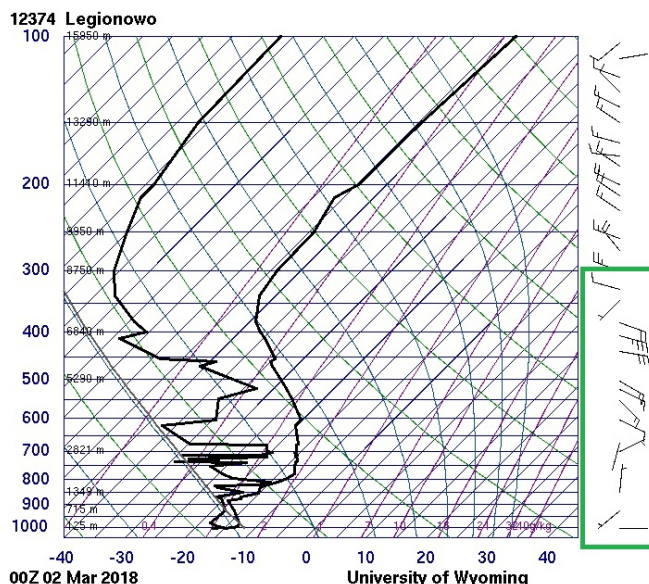
Wpływ wiatru

Wiatr jest podstawowym czynnikiem kształtującym dyspersję zanieczyszczeń promieniotwórczych. Obserwując kierunek wiatru w odpowiednio długim czasie, możemy określić statystycznie przeważający kierunek wiatru dla danej lokalizacji (tzw. różę wiatrów). Kierunek ten jest szczególnie istotny dla długotrwałych uwolnień, ponieważ im czas uwolnienia jest dłuższy, tym korelacja z różą wiatrów jest bardziej zbieżna [3]. W przypadku uwolnień krótkotrwałych kierunek jest zależny od aktualnie panujących warunków atmosferycznych. Często obserwowanym zjawiskiem utrudniającym prognozowanie dyspersji jest zmiana kierunku wiatru z wysokością. Obserwowano, że na wysokościach do 125 m kierunek wiatru może się zmieniać trzykrotnie [4]. Ma to szczególnie istotne znaczenie w przypadku uwolnień charakteryzujących się wysokim profilem (np. uwolnienia z wysoką temperaturą).

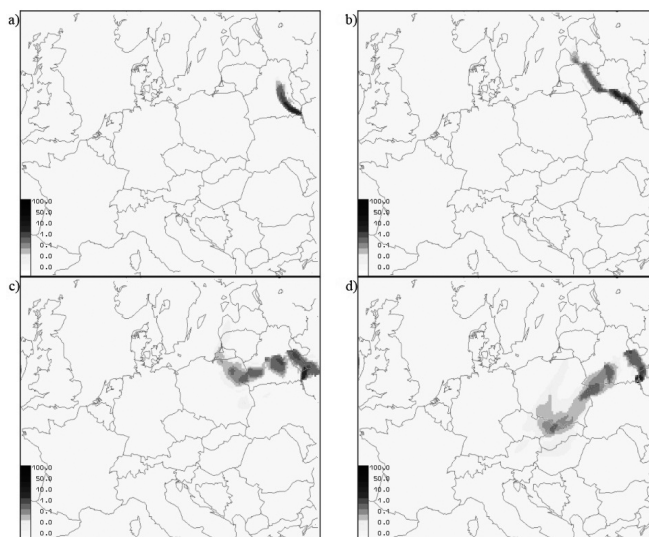
Jako parametry krytyczne wiatru pod względem wystąpienia pesymistycznych warunków meteorologicznych możemy wyróżnić:

- **Prędkość** – bezpośrednio determinująca rozcieńczenie zanieczyszczenia w powietrzu, a także czas ekspozycji osoby narażonej. Szczególnie niekorzystne są wiatry słabe (0,5–2 m/s) oraz tzw. cisze wiatrowe (0–0,5 m/s), przy których następuje silne kumulowanie się skażeń.
- **Kierunek** – parametr szczególnie istotny ze względu na dawkę kolektywną, w przypadku zagrożenia dużych aglomeracji. Częste zmiany kierunku wiatru mogą powodować skażenie rozległych przestrzeni, a także ponowne skażenia w danym obszarze.

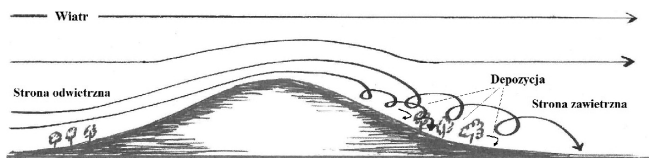
Wiatr jest dodatkowo determinowany **lokalną topografią**. Zróznicowanie w budowie terenu, takie jak występowanie dolin, wzniesień czy przeszkód stałych jak budynki, wpływa na zmiany prędkości wiatru zgodnie z prawami przepływu. Jest to dodatkowy czynnik kształtujący proces lokalnej depozycji skażeń, charakteryzujący się krytycznymi wartościami parametrów meteorologicznych dla danej lokalizacji.



Rys. 2. Radiosondaż prezentujący zmiany kierunku oraz prędkości wiatru z wysokością (zielona ramka) [4].



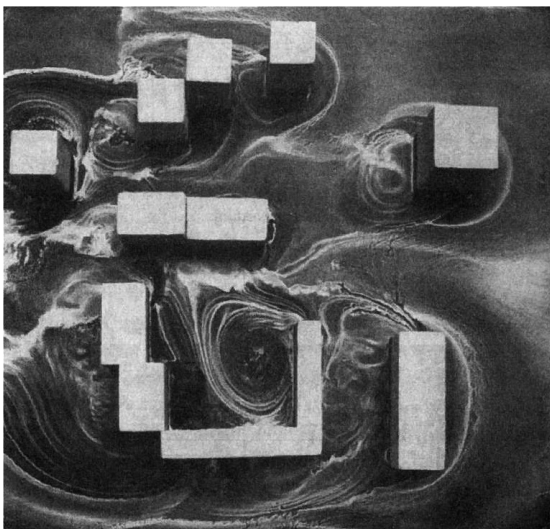
Rys. 3. Symulacja dyspersji skażeń po katastrofie w Czarnobylu w ciągu kolejnych 4 dni. Zmiana kierunku wiatru przyczyniła się do rozległych skażeń na obszarze Polski [5].



Rys. 4. Optyw wzgórze, w wyniku zmiany prędkości oraz wielkości turbulencji następuje wzrost skażeń po stronie zawietrznej (opracowanie własne).

³ Zgodnie z rozporządzeniem RM z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie wartości poziomów interwencyjnych dla poszczególnych rodzajów działań interwencyjnych oraz kryteriów odwołania tych działań, zostały ustalone wartości poziomów interwencyjnych dla poszczególnych działań interwencyjnych:

- 1) ewakuacja – w przypadku otrzymania przez osobę w zagrożonym terenie dawki efektywnej (z wyłączeniem drogi pokarmowej) co najmniej 100 mSv po okresie 7 dni,
- 2) nakaz pozostania w pomieszczeniach zamkniętych – w przypadku otrzymania przez osobę w zagrożonym terenie dawki efektywnej (z wyłączeniem drogi pokarmowej) co najmniej 10 mSv po okresie 2 dni,
- 3) podanie preparatów ze stabilnym jodem – jeżeli u dowolnej osoby w terenie zagrożonym zachodzi możliwość otrzymania dawki pochłoniętej na organ tarczycy równej co najmniej 100 mGy.



Rys. 5. Przepływ przez teren silnie zurbanizowany, widoczny znaczny wzrost turbulencji w wyniku opływu przeszkód stałych [1]. Sytuacja ta sprzyja procesom depozycji skażeń.

Gradient temperatury

Dolna warstwa atmosfery (troposfera) charakteryzuje się spadkiem temperatury, ciśnienia oraz gęstości wraz ze wzrostem wysokości. Spadek temperatury wynosi średnio ok. $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Wartość gradientu temperatury może ulegać zmianom w zależności od panujących warunków meteorologicznych, a aktualną sytuację określa tzw. gradient rzeczywisty (), możemy go zmierzyć za pomocą radiosondaży meteorologicznych (rys. 2).

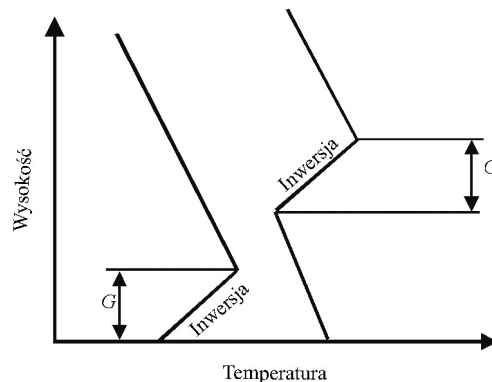
$$\frac{dT}{dZ} \quad (1)$$

gdzie: T – temperatura [$^{\circ}\text{C}$], Z – wysokość nad poziomem terenu [m].

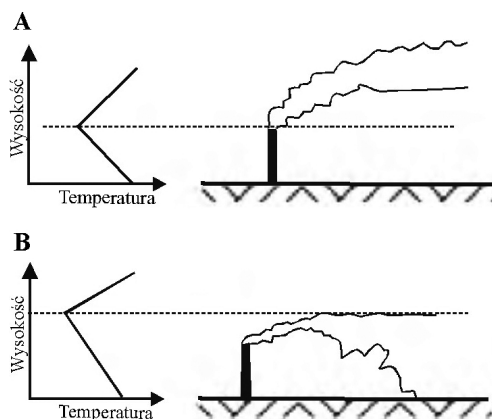
Uwolnione zanieczyszczenia o temperaturze wyższej od otaczającego powietrza (niższej gęstości) unoszą się zgodnie z prawem wyporu. W przypadkach gdy gradient temperaturowy zostanie odwrócony (np. w wyniku silnego oddawania ciepła przez powierzchnię), zanieczyszczenia będą miały tendencję do opadania. Układy gradientowe troposfery mogą mieć wiele wariantów determinujących dyspersję pionową zanieczyszczeń. Rozprzestrzenianie się pionowe zanieczyszczeń jest również uzależnione od wysokości uwolnienia (np. uwolnienie na wysokości budynku reaktora lub z wysokiego komina). W zależności od wartości gradientu wyróżniamy następujące tzw. **klasy stabilności atmosferycznej**, determinujące pionowe rozprzestrzenianie się skażeń:

- Chwiejna – spadek temperatury $>1^{\circ}\text{C}$ na 100 m; która sprzyja silnemu mieszaniu się zanieczyszczeń, a co za tym idzie, zmniejszeniu zasięgu oddziaływania.
- Obojętna – spadek temperatury około 1°C na 100 m; zachodzi umiarkowane mieszanie się zanieczyszczeń.
- Stała – spadek temperatury $<1^{\circ}\text{C}$ na 100 m; procesy mieszania są szczątkowe, warunki te sprzyjają wzrostowi stężeń skażeń w powietrzu.

W przypadku silnego odwrócenia pionowego gradientu temperatury (wzrostu temperatury wraz z wysokością) mówimy o tzw. **inwersji**, gdzie pionowy gradient przyjmuje wartości ujemne. Zjawisko to powoduje zakłócenie naturalnego procesu konwekcyjnego transportu i zatrzymanie skażeń w przyziemnej warstwie atmosfery. Wariant ten jest szczególnie niekorzystny, kiedy inwersja występuje przy powierzchni ziemi (tzw. inwersja przygruntowa), a zanieczyszczenia zostały wyemitowane w zasięgu wstępowania zjawiska. Dlatego w trakcie występowania inwersji istotne są parametry samego uwolnienia, takie jak: temperatura [T], energia kinetyczna na jednostkę czasu [kW] oraz wysokość emisji [m]. Należy zaznaczyć, że w przypadku uwolnień ponad strefę oddziaływania inwersji, zjawisko może być korzystne, ponieważ warstwa inwersyjna będzie stanowić swoistą barierę, oddzielającą powierzchnię ziemi od skażenia (rys. 7). Inwersja powoduje szczególnie duży wzrost dawek wynikających z bezpośredniej inhalacji skażonego powietrza, w związku z czym skażenia powietrza izotopami alfa oraz beta promieniotwórczymi są szczególnie niebezpieczne. Zjawisko to ma też uwarunkowania lokalne, gdzie charakter użytkowania terenu odgrywa istotną rolę. Tereny silnie zurbanizowane lub uprzemysłowione charakteryzują się większą temperaturą powierzchni, w związku z czym są potencjalnie bardziej narażone na występowanie zjawisk inwersji.



Rys. 6. Zjawisko inwersji [6].



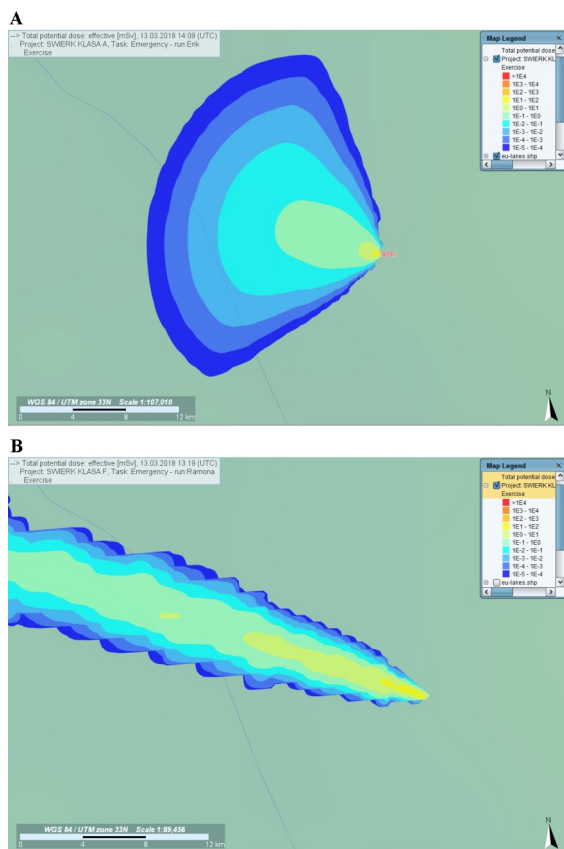
Rys. 7. Dyspersja zanieczyszczeń ponad granicą inwersji (A) oraz poniżej warstwy inwersji (B) [6].

Klasy stabilności atmosferycznej determinują również szerokość poziomej dyspersji skażeń w zależności od prędkości wiatru. Wartości te są określane za pomocą tzw. współczynnika dyfuzji Pasquilla (). Klasy stabilności wg Pasquilla przyjmują wartości od A do F, gdzie A jest równowagą silnie chwiejną, a F wybitnie stałą. Klasy A-D są uznawane za warunki sprzyjające dobrej wentylacji, natomiast E-F słabej wentylacji sprzyjające silnym koncentracjom skażeń [7].

TABLE VI. TYPICAL RELATIONSHIP BETWEEN STABILITY CLASS AND σ_{θ} (for open rural terrain, derived from Ref.[58])
Letters A – F refer to definitions in Table III

σ_{θ}	25°	20°	15°	10°	5°	2.5°
Pasquill class	A	B	C	D	E	F

Rys. 8. Wartości współczynnika dyfuzji wyrażonego w kątach brytowych dla poszczególnych klas stabilności [2].



Rys. 9. Symulacja dyspersji przy klasie stabilności atmosferycznej A (rys. A) oraz F (rys. B) za pomocą Lagrangowskiego modelu dyspersji „DIPLOT”. Widoczny jest wzrost obszaru o największym narażeniu dla klasy F (opracowanie własne).

Opady atmosferyczne

Opady (deszczu, śniegu lub gradu) skutecznie wymywają skażenia z powietrza. Opadające kropelki deszczu mogą zbierać gazy (wyjątkiem są tu izotopy gazów szlachetnych), cząstki zawieszane oraz aerozole. Efektywność tego pro-

cesu zależy od jego intensywności oraz od charakterystyki zanieczyszczenia. Dla zanieczyszczeń gazowych kluczowym parametrem jest rozpuszczalność w wodzie, natomiast dla cząstek proces ten zależy również od objętości kropeł, kształtu oraz intensywności opadu. Proces wymywania skażeń przez opad nazywamy **mokłą depozycją**.

Proces mokrej depozycji jest jednym z najistotniejszych procesów wpływających na skażenie powierzchni ziemi. W następstwie wiąże się to ze zwiększonymi dawkami od spożycia pokarmów oraz wody (skażenie łańcucha pokarmowego), a także z dawką bezpośredniego promieniowania od skażonej powierzchni. Szczególnie niekorzystne są tu depozycje izotopów charakteryzujących się słabą migracją (silną adsorbancją), jak izotopy cezu czy strontu, które długo pozostają w strefie czynnej systemów korzeniowych roślin [3]. Proces depozycji (suchej oraz mokrej) może się wiązać również z ponowną resuspensją⁴. Przykładem skażeń będących następstwem mokrej depozycji jest tzw. anomalia opolska, gdzie po katastrofie w Czarnobylu nastąpiły silne opady atmosferyczne. W efekcie tego obserwujemy znaczący wzrost skażeń gleb w stosunku do pozostałej części kraju.

Isotopie group	Group name	Basic dry-deposition parameter [m/s]	Wet-deposition parameter [s ⁻¹]
1	Gazy szlachetne	-	-
2	Jod elementarny	0.01	$8.0E-5 \times \Lambda^{0.6}$
3	Jod organiczny	0.0005	$8.0E-7 \times \Lambda^{0.6}$
4	Aerozole	0.001	$8.0E-5 \times \Lambda^{0.8}$

Rys. 10. Wartość współczynników wymywania dla danych grup izotopów (odpowiednio: gazów szlachetnych, jodu elementarnego, jodu organicznego oraz aerozoli), gdzie: Λ – intensywność opadów [mm/h].

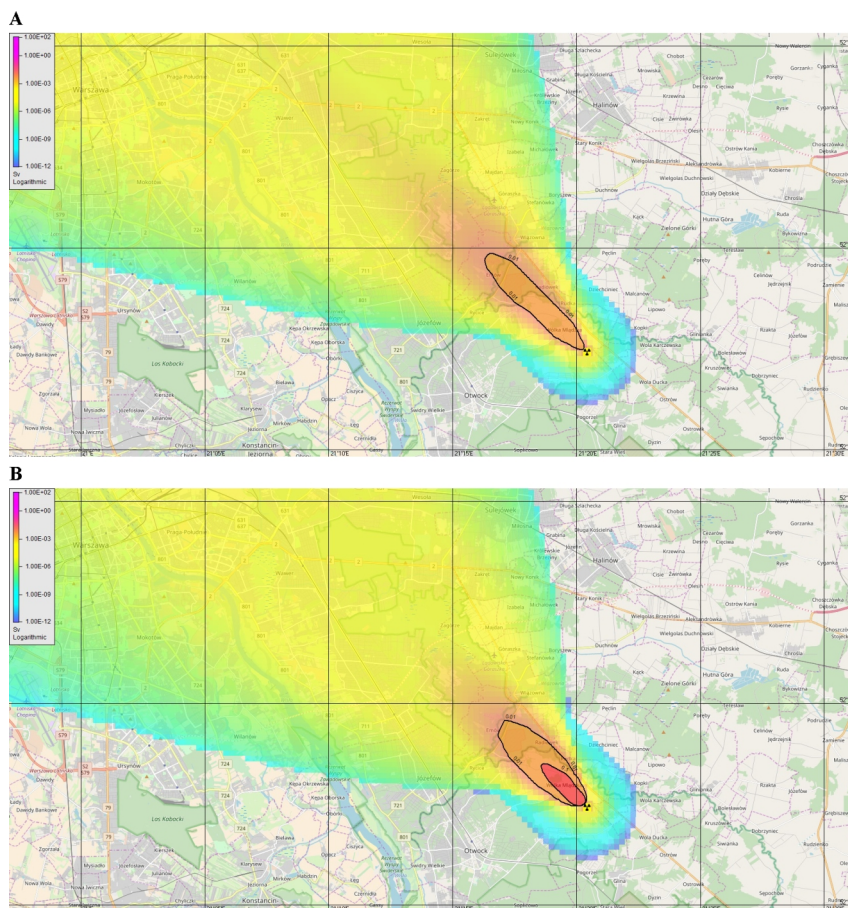
Wnioski

Uwzględnienie pesymistycznych warunków meteorologicznych jest istotne w wielu procesach związanych z uruchomieniem oraz eksploatacją obiektu jądowego, takich jak: proces opracowywania planów postępowania awaryjnego, obliczanie potencjalnego oddziaływania obiektu na otoczenie, wybór lokalizacji oraz technologii. Należy jednak wziąć pod uwagę, że niniejszy artykuł ma charakter poglądowy i opisuje jedynie podstawowe czynniki kształtujące zachowanie się skażeń w powietrzu atmosferycznym.

W rzeczywistości warunki określane jako pesymistyczne są zależne również od lokalnych uwarunkowań, takich jak: klimat, topografia czy rodzaj zagospodarowania terenu. Istotnymi czynnikami są także parametry uwolnienia, jak: aktywność uwolnienia [Bq], czas uwolnienia⁵ oraz skład

⁴ Ponowne tworzenie się zawiesiny atmosferycznej.

⁵ Długość trwania uwolnienia.



Rys. 11. Prognozy przebiegu dyspersji oraz całkowitych dawek skutecznych [Sv] hipotetycznego uwolnienia z reaktora Maria dla 2 przypadków warunków meteorologicznych. Przypadek A – warunki słabej wentylacji (prędkość wiatru w zakresie 0,5–1 m/s), widoczny obszar objęty działaniami interwencyjnymi w postaci pozostania w pomieszczeniach zamkniętych (pomarańczowy obszar); przypadek B – warunki słabej wentylacji wraz z intensywnymi opadami deszczu, obserwowalny znaczny wzrost dawek w odległości kilku km od źródła uwolnienia oraz pojawienie się obszaru objętego działaniami interwencyjnymi w postaci ewakuacji (obszar czerwony) (opracowanie własne).

izotopowy. Liczba kombinacji czynników kształtujących pesymistyczne warunki pogodowe jest bardzo duża i zależy od lokalnych uwarunkowań. W związku z tym każda lokalizacja cechuje się indywidualnymi wartościami parametrów meteorologicznych, stwarzającymi zwiększone narażenie ludności. Zidentyfikowanie możliwości występowania potencjalnie niekorzystnych warunków meteorologicznych może się odbyć na etapie monitoringu przedinwestycyjnego. W związku z tym prawidłowe zaplanowanie zakresu monitoringu oraz skrupulatna analiza wyników odgrywają tu kluczową rolę.

Notka o autorze

Mgr inż. Adam Jaroszek – absolwent Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Obecnie doktorant Katedry Kształtowania i Ochrony Środowiska.

Specjalista w Wydziale Monitoringu i Prognozowania Centrum do spraw Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki.

Literatura

1. A. Flaga, *Inżynieria wiatrowa*, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 2008.
2. IAEA, *Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting*, Vienna 1980.
3. R. Szepeke, *Problemy promieniotwórczych skażeń otoczenia i skażeń wewnętrznych*, Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej, Warszawa 1965.
4. [Online]. Available: <http://weather.uwyo.edu/upperair/np.html>.
5. A. Mazur, J. Bartnicki, J. Zawoździak, *Operational model for atmospheric transport and deposition of air pollution*, *Ecological Chemistry and Engineering C*, 21(3), 2014.
6. J. Zawoździak, *Meteorologia w ochronie atmosfery*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
7. K. Juda-Rezler, *Pyły drobne w atmosferze*, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2016.

Geneza konwencji o dodatkowym odszkodowaniu za szkodę jądrową, tzw. *Umbrella Convention*

Maciej Lemiesz
Państwowa Agencja Atomistyki

W dniu 12 września 1997 r. na konferencji dyplomatycznej została przyjęta „Konwencja o uzupełniających odszkodowaniach za szkody jądrowe” otwarta do podpisu w Wiedniu w dniu 29 września 1997 r., na 41. Konferencji Generalnej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Istotą tego aktu prawnego było zwiększenie zakresu ochrony potencjalnych poszkodowanych w następstwie awarii jądrowej oraz rozszerzenie zasięgu działania traktatu na państwa, które nie były stronami obowiązujących już umów międzynarodowych regulujących odpowiedzialność operatora za szkodę jądrową.

Niedoskonałość systemu odpowiedzialności za szkodę jądrową

Wśród ogólnych zasad, na których opiera się specjalny system odpowiedzialności za szkody jądrowe, znajduje się **zasada ograniczenia kwotowej odpowiedzialności operatora**, która materializuje się w **ograniczeniu wysokości wypłacanego odszkodowania**. Wprowadzenie tej reguły uzasadnione jest koniecznością zlikwidowania nadmiernego obciążenia osób prowadzących działalność w dziedzinie energii jądrowej, aby nie hamować rozwoju tej dziedziny nauki i techniki. Z drugiej zaś strony działa ona niekorzystnie dla osób będących w kręgu potencjalnie poszkodowanych, zwłaszcza że jakkolwiek pułap kwotowy ustalony przez prawo krajowe może się wydawać niewystarczający w świetle potencjalnych skutków ciężkiej awarii reaktora jądrowego.

Już przed rozwojem międzynarodowego reżimu prawnego odpowiedzialności za szkody jądrowe **konieczność**

zapewnienia adekwatnego naprawienia szkody przekraczającej wysokość zabezpieczenia finansowego operatora została przyjęta w kilku krajach **poprzez zapewnienie odpowiednich funduszy publicznych**. Ten dodatkowy zakres ubezpieczenia został zapewniony w przepisach określających **zobowiązanie państwa** do przyjęcia **odpowiedzialności do pewnej kwoty** lub po prostu przewidzianej w formie **specjalnych środków**, które mają zostać przyjęte *ad hoc* w drodze wydania odpowiednich aktów prawnych. W przypadku ciężkiej awarii w niektórych systemach prawnych te dwie metody połączono, przygotowując specjalne przepisy zapewniające dodatkowe zaplecze finansowe, które może być wymagalne w świetle rzeczywiście poniesionej szkody.

Kiedy międzynarodowy system odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową był po raz pierwszy opracowywany w ramach OEEC¹ (obecnie OECD²), z wielu stron sugerowano, że traktatowe zobowiązanie ze strony państwa urzędnika do zapewnienia dodatkowego pokrycia odszkodowań do określonej kwoty powinno być jasno określone w treści Konwencji paryskiej. Sugestia ta nie została jednak przyjęta, a Konwencja paryska jedynie przewidywała, że każde państwo-strona uprawnione było do podjęcia takich środków, jakie uzna za konieczne w celu zwiększenia kwoty odszkodowania³. Wkrótce uznano jednak, że pozostawienie tej materii w całkowitej dyspozycji państwa urzędnika nie przyniesie realnego zabezpieczenia, w związku z czym doprowadziło do przyjęcia Konwencji brukselskiej, uzupełniającej Konwencję paryską.

Konwencja brukselska została otwarta do ratyfikacji jedynie dla państw będących stronami Konwencji

¹ Organizacja Europejskiej Współpracy Gospodarczej (ang. *Organization for European Economic Co-operation*, OEEC).

² Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *Organization for Economic Co-operation and Development*, OECD).

³ Zob. art. 15 Konwencji paryskiej.

paryskiej⁴, ustanowiła ona system regionalny obejmujący dodatkowe odszkodowanie, które będzie częściowo zapewnione przez państwo urzędzenia, a częściowo przez wszystkie państwa-strony łącznie⁵. Innymi słowy, nie tylko państwo urzędzenia jest zobowiązane do zapewnienia środków publicznych w określonej wysokości w celu pokrycia szkód przekraczających limit odpowiedzialności operatora, ale przewiduje się „trzecią warstwę” odszkodowania, w którym wszystkie państwa-strony, w duchu wzajemnej solidarności, są zobowiązane do zapewnienia środków publicznych do dodatkowej kwoty w celu pokrycia szkód przekraczających dwie pierwsze warstwy odszkodowania (operator, państwo urzędzenia).

W przeciwieństwie do Konwencji paryskiej, Konwencja wiedeńska nie przewiduje wyraźnie możliwości ustanowienia przez państwa-strony systemu dodatkowego odszkodowania za szkody przewyższające odpowiedzialność operatora.

Prace nad konwencją ramową

Konferencja dyplomatyczna, która doprowadziła do przyjęcia Konwencji wiedeńskiej, widziała potrzebę ustanowienia zasad zabezpieczenia dodatkowego odszkodowania (ang. *supplementary compensation*). W rezolucji z dnia 19 maja 1963 r., w której wezwano MAEA do powołania stałego komitetu w celu dokonania przeglądu kwestii regulowanych przez konwencję, konferencja zaleciła, aby jednym z zadań komitetu było „zbadanie, czy pożądane i wykonalne jest ustanowienie międzynarodowego funduszu odszkodowawczego za szkodę jądrową oraz sposobu, w jaki taki fundusz działałby, nie tylko w celu umożliwienia operatorom wywiązania się z odpowiedzialności na mocy art. V konwencji, ale także w celu pokrycia szkód przewyższających kwotę w nim przewidzianą”. Decyzja Rady Gubernatorów z 18 września 1963 r., która ustanowiła Stały Komitet, odnosiła się do zadań określonych w rezolucji konferencji z 19 maja 1963 r., jednakże w ramach prac Stałego Komitetu odbyło się tylko sześć serii spotkań między jego założeniem a 1987 r. Nigdy nie doprowadziły one do przyjęcia systemu dodatkowych odszkodowań na mocy Konwencji wiedeńskiej.

W następstwie wydarzeń w Czarnobylu pomysł dodatkowego zabezpieczenia finansowego na poziomie światowym został ponownie podjęty. Jedną z przedstawionych wówczas propozycji było zbadanie wykonalności opracowania nowego instrumentu dotyczącego odpowiedzialności państwa za szkody transgraniczne, które mogłyby uzupełniać konwencje dotyczące odpowiedzialności cywilnej i zapewniać ramy dla ustanowienia kompleksowego systemu odpowiedzialności w zakresie szkód jądrowych. Po ponownym powołaniu Stałego Komitetu jednym z jego

zadań było rozważenie „odpowiedzialności państwa w stosunkach międzynarodowych i związku z międzynarodową odpowiedzialnością na gruncie prawa cywilnego i publicznego”. Z drugiej strony, jak wskazano wcześniej, kilka delegacji wyraziło wątpliwości co do istnienia międzynarodowego systemu odpowiedzialności państwa za szkody jądrowe i uznało, że zachodzi potrzeba takiego uregulowania przez ustanowienie systemu dodatkowego finansowania podobnego do tego stworzonego przez Konwencję brukselską, ale stosowanego na poziomie światowym.

Kwestia finansowania uzupełniającego została szczegółowo rozpoznana przez Stały Komitet. Prace koncentrowały się początkowo na opracowaniu konwencji o charakterze ogólnoświatowym, która uzupełniłaby zarówno Konwencję wiedeńską, jak i Konwencję paryską i byłaby otwarta dla państw będących stronami jednej z tych konwencji. Zbadano różne alternatywne podejścia, takie jak ustanowienie dodatkowych poziomów odszkodowawczych przez państwa urzędzenia, łączne fundusze wnoszone przez operatorów i państwa-strony. Pierwszy projekt konwencji, uzupełniający Konwencję wiedeńską i Konwencję paryską, został przygotowany przez Sekretariat MAEA na wniosek Stałego Komitetu i został przedstawiony na pierwszym posiedzeniu Międzysesyjnej Grupy Roboczej. Na trzeciej sesji Stały Komitet przyjął ten projekt jako podstawę przyszłych rozważań, wraz z alternatywną propozycją Polski. Wkrótce jednak pojawiły się inne propozycje, w szczególności wspólna propozycja Francji i Wielkiej Brytanii, która została włączona do dokumentacji Komitetu na szóstej sesji. Oryginalny projekt konwencji opracowany przez Sekretariat został nazwany „projektem opartym na składkach” (ang. „*levy draft*”), a alternatywny projekt zaproponowany przez Francję i Wielką Brytanię nazwano „projektem opartym na funduszach” (ang. „*pool draft*”). Oba projekty w niedługim czasie zostały poddane rozpatrzeniu. Trudność w osiągnięciu porozumienia między tymi dwoma podejściami doprowadziła do powtarzających się dyskusji na temat tego, czy związek między rewizją Konwencji wiedeńskiej a dodatkowym finansowaniem powinien zostać utrzymany, czy też obie te kwestie powinny być „rozdzielone”, pozostawiając sprawę dodatkowych środków finansowych do omówienia po przyjęciu Protokołu zmieniającego dla Konwencji wiedeńskiej. Oprócz tych dwóch projektów wniesiono również wspólną duńsko-szwedzką propozycję, mającą na celu wprowadzenie do treści Konwencji wiedeńskiej regulacji dotyczących dodatkowego odszkodowania jako alternatywnego rozwiązania tego zagadnienia. Jednakże, pomimo przyjęcia duńsko-szwedzkiego wniosku, negocjacje w sprawie opracowania nowej, odrębnej konwencji zapewniającej dodatkowe odszkodowanie były kontynuowane. Podczas dziewiątej sesji Stały Komitet

⁴ Art. 1, 19 i 22 Konwencji brukselskiej.

⁵ Art. 3 Konwencji brukselskiej.

zwrócił się do Sekretariatu o przygotowanie projektu nowej konwencji, który został przedstawiony na czwartym posiedzeniu Międzysesyjnej Grupy Roboczej jako „projekt zbiorowego wkładu państw” (ang. „*collective State contributions draft*”). Jednakże projekty oparte na funduszach i składkach zostały ostatecznie zdjęte z agendy sesji XI. Jeśli chodzi o „projekt zbiorowego wkładu państw”, został on ostatecznie połączony z alternatywną propozycją USA, stając się podstawą przyszłej konwencji ramowej, tzw. *Umbrella Convention*⁶”.

Ostatecznie Stały Komitet zdecydował o wprowadzeniu elementu dodatkowego finansowania, a mianowicie poziomu odszkodowania przez państwo urzędzenia, również w Protokole zmieniającym Konwencję wiedeńską.

W zakresie dodatkowego odszkodowania wkrótce pojawiły się trudności związane z ustanowieniem międzynarodowego funduszu na poziomie światowym, zwłaszcza jeśli system ten miałby być oparty na bazie Konwencji brukselskiej. Większość delegacji była zdania, że państwa nie-nuklearne powinny być również zobligowane do ratyfikacji nowej konwencji, ale trudno było określić, w jaki sposób państwa te miałyby uczestniczyć we wspólnym stanowieniu funduszu, który w dużej mierze byłby wykorzystywany do rekompensowania poniesionych szkód w państwie urzędzenia, z wyjątkiem przypadku, gdy zdarzenie jądrowe miało nastąpić w trakcie transportu lub w strefie przygranicznej państwa urzędzenia. Ponadto zwrócono uwagę, że nawet państwa jądrowe, które były w stanie zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, mogą mieć trudności z wniesieniem stosownego wkładu do takiego funduszu, ponieważ wzajemna solidarność państw jądrowych była w dużej mierze uznawana za zakładającą porównywalne poziomy bezpieczeństwa jądrowego.

Sytuacja zaczęła się zmieniać w następstwie stopniowego pojawiania się pomysłu, że międzynarodowe fundusze, które mają zostać udostępnione w ramach międzynarodowej konwencji o dodatkowym finansowaniu, w odróżnieniu od rozwiązań przewidzianych w Konwencji brukselskiej, powinny być stosowane wyłącznie w celu zrekomensowania tzw. szkód transgranicznych, tj. szkód wyrządzonych poza terytorium państwa urzędzenia. Jednakże, mimo że pomysł ten wydawał się satysfakcjonujący zarówno dla państw atomowych, jak i nieposiadających własnych reaktorów, niektóre państwa nuklearne były sta-

nowczo przeciwko niemu, ponieważ, ich zdaniem, byłoby to sprzeczne z jedną z podstawowych zasad międzynarodowego systemu odpowiedzialności za szkody jądrowe, czyli prawa niedyskryminacji, podnoszono nawet, że może stwarzać wątpliwości o charakterze ustrojowym w niektórych systemach prawnych. Ostatecznie osiągnięto kompromisowe rozwiązanie, w którym zgromadzone środki w funduszu międzynarodowym będą częściowo wykorzystywane do zrekomensowania szkód transgranicznych i częściowo do zrekomensowania szkód poniesionych zarówno na terytorium państwa urzędzenia, jak i poza nim.

Niezależny charakter konwencji ramowej

Pierwotnym założeniem Stałego Komitetu było opracowanie konwencji uzupełniającej zarówno Konwencję paryską, jak i Konwencję wiedeńską, otwartej tylko dla państw będących stronami jednej z nich. Wkrótce jednak okazało się, że nie wszystkie państwa jądrowe są gotowe zmienić swoje krajowe ustawodawstwo, aby zachować zgodność z wszelkimi zasadami międzynarodowej odpowiedzialności w dziedzinie energii jądrowej zawartymi w tych konwencjach. Odniesiono się w szczególności do ustawodawstwa Stanów Zjednoczonych, opartego na ustawie *Price-Anderson Act*, który stworzył pierwszy na świecie krajowy system odpowiedzialności w dziedzinie energii jądrowej. Ustawodawstwo to, zamiast koncentrować odpowiedzialność wyłącznie na osobie operatora (tak zwana skanalizowana odpowiedzialność osoby eksploatującej (ang. „*Legal channeling*”)⁷), przewiduje rozwiązanie oparte na solidarnej odpowiedzialności każdej z osób, która może być odpowiedzialna za szkodę jądrową, stosownie do ogólnych reguł prawa odszkodowawczego (reguła ta nazwana została „**ekonomicznym skupieniem odpowiedzialności**” (ang. „*Economic channeling*”), co na gruncie prawa kontynentalnego może zostać opisane jako **majątkowa odpowiedzialność solidarna**)⁸. Propozycja dalszego rozważania „równoczesnego lub alternatywnego wykorzystania obu rodzajów skanalizowanej odpowiedzialności jako środka gwarantującego zabezpieczenia ustalonej kwoty pokrycia finansowego” została przedłożona na pierwszej sesji Stałego Komitetu podczas pierwszego spotkania Grupy Roboczej. Wówczas Stany Zjednoczone

⁶ Konwencja nosi oficjalną nazwę *Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage*, w skrócie: CSC, czyli konwencja o dodatkowym odszkodowaniu za szkodę jądrową, którą zwyczajowo nazywa się „*Umbrella Convention*”, co można przetłumaczyć jako „konwencja ramowa” – takie określenie przyjęto na potrzeby niniejszego opracowania.

⁷ Odpowiedzialność osoby eksploatującej urządzenie jądrowe za szkody powstałe w wyniku zdarzenia jądrowego w urządzeniu jądrowym lub podczas przywozu lub wywozu paliwa jądrowego jest wyłączna. Operator jest z mocy prawa odpowiedzialny za powstałą szkodę niezależnie od tego, jakie były rzeczywiste powody jej powstania. Z punktu widzenia poszkodowanego zasada ta ułatwia dochodzenie roszczeń odszkodowawczych – legitymację bierną zawsze będzie miał operator urządzenia jądrowego, niezależnie od podmiotu, który rzeczywiście przyczynił się do powstania wypadku, a w efekcie szkody.

⁸ W praktyce, rozwiązanie USA stanowiło, że podmiot trudniący się transportem materiałów jądrowych, lub zakład przetwarzający paliwo lub materiały jądrowe, również był traktowany jak operator i był zobligowany do posiadania własnego funduszu pieniężnego na wypadek konieczności wypłacenia odszkodowań. W razie wystąpienia wypadku każdy z tych podmiotów będzie zobligowany do wypłaty odszkodowania w zakresie takim, w jakim przyczynił się do powstania szkody.

przedstawiły konkretną propozycję w przedmiocie wdrożenia zasady ekonomicznego skupienia odpowiedzialności. Propozycja USA, mimo pozostawania w agendzie komitetu przez długi czas, nie była przedmiotem dyskusji, częściowo ze względu na chęć odroczenia debaty ze strony samej delegacji amerykańskiej, która oczekiwała na wyniki rozważań prowadzonych w Stanach Zjednoczonych w przedmiocie wprowadzenia reguł odpowiedzialności na zasadzie ryzyka do prawa stanowego. Ostatecznie propozycja ta została wycofana podczas dziesiątej sesji, nie przedstawiając tym samym innych propozycji zmian do Konwencji wiedeńskiej. Delegacja Stanów Zjednoczonych doszła do wniosku, iż „nie oczekuje się, że znowelizowana Konwencja wiedeńska będzie uniwersalnym instrumentem, którym zwiąże się większość państw, bądź że będzie podstawą do zapewnienia wystarczających kwot odszkodowań, która dla większości krajów będzie akceptowalna”. Następnie delegacja USA zaprezentowała nową koncepcję konwencji w sprawie dodatkowego odszkodowania (zwaną „projektem ramowym”, ang. „*umbrella draft*”).

Należy wyraźnie zaznaczyć, że w owym czasie udział Stanów Zjednoczonych w tworzonego reżimie odpowiedzialności uznano za niezbędny w celu zapewnienia dostępności wystarczających funduszy na uzupełniające odszkodowanie. W związku z tym ostatecznie **postanowiono opracować konwencję otwartą nie tylko dla państw będących stronami Konwencji paryskiej lub Konwencji wiedeńskiej, ale również otwartą do ratyfikacji dla państw niebędących stronami żadnej z nich, pod warunkiem, że ich ustawodawstwo jest zgodne z podstawowymi regułami odpowiedzialności za szkodę jądrową**. Ponadto, zdecydowano również wprowadzić do konwencji tak zwaną **regułę stosowania dotychczasowych klauzul**, aby umożliwić Stanom Zjednoczonym udział w reżimie bez zmiany swojego ustawodawstwa wewnętrznego.

Nowy projekt konwencji został przedłożony przez delegację Stanów Zjednoczonych na czwartym posiedzeniu Międzysesyjnej Grupy Roboczej, który wkrótce otrzymał miano „**projektu ramowego**” (*Umbrella Draft*). Ów projekt wkrótce stał się przedmiotem rozważań, wraz z „**projektem zbiorowego wkładu państw**”. Pośród członków Stałego Komitetu przeważał pogląd, że oba projekty nie są wzajemnie wykluczające się, wobec czego, podczas dwunastej sesji w maju 1995 r., podjęto decyzję o połączeniu obu projektów w jeden „scalony projekt” (ang. „*merged draft*”), zawierający regułę stosowania dotychczasowych klauzul. Podczas trzynastej sesji, która odbyła się we wrześniu 1995 r., uchwalono nowy dokument, który otrzymał roboczą nazwę „wrześniowego projektu” (ang. „*september draft*”). Projekt ten po raz pierwszy zawierał załącznik określający zasady odpowiedzialności za szkodę jądrową przewidziane dla państw niebędących stroną Konwencji wiedeńskiej lub paryskiej.

W rezultacie na podstawie „wrześniowego projektu” zaczęto opracowywać ostateczny kształt konwencji.

W preambule do konwencji ramowej wyraźnie stwierdza się, że celem przedmiotowej umowy międzynarodowej jest ustanowienie ogólnoświatowego systemu odpowiedzialności za szkodę jądrową „w celu zwiększenia i wzmocnienia” środków przewidzianych na wypłatę odszkodowań, nie tylko na gruncie Konwencji wiedeńskiej i Konwencji paryskiej, ale również w ustawodawstwach krajowych „zgodnych z regułami tych konwencji”. Z tej właśnie przyczyny, w treści Załącznika, konwencja określa szczególny reżim odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową, który na mocy art. II ust. 3 stanowi integralną część konwencji. Art. II ust. 1 konwencji ramowej stanowi, że celem konwencji jest uzupełnienie systemu odszkodowawczego za szkodę jądrową, zgodnie z prawem krajowym państwa-strony, które zaimplementowało rozwiązania Konwencji paryskiej bądź wiedeńskiej lub jest zgodne z postanowieniami Załącznika. Należy zaznaczyć, że zgodnie z art. XVII konwencji jest ona otwarta do podpisu dla wszystkich państw, jednakże do czasu niew wejścia konwencji w życie art. XVIII i XIX precyzują, że przystąpienie do konwencji będzie możliwe jedynie dla państw, które są stronami Konwencji wiedeńskiej lub Konwencji paryskiej lub państw deklarujących, że ich prawo krajowe jest zgodne z postanowieniami Załącznika. Zgodnie z art. XVIII i XIX każde państwo-strona jest zobowiązane do przekazania depozytariuszowi, w jednym z oficjalnych języków Organizacji Narodów Zjednoczonych, przepisów prawa krajowego. Kopie tych przepisów będą rozsyłane przez depozytariusza do wszystkich pozostałych państw-stron.

Ponadto w treści preambuły zostało wyrażone uznanie, że „ogólnoświatowy reżim odpowiedzialności za szkodę jądrową zachęcałby do współpracy na szczeblu regionalnym i globalnym w zakresie promowania wyższego poziomu bezpieczeństwa jądrowego zgodnie z zasadami międzynarodowego partnerstwa i solidarności”. W tej materii art. XVIII i XIX nakładają obowiązek na państwa posiadające na swoim terytorium urządzenie jądrowe określone w Konwencji bezpieczeństwa jądrowego do bycia stroną tejże konwencji (KBJ), zanim przystąpi do ratyfikacji konwencji ramowej.

Zasady odpowiedzialności jądrowej zawarte w Załączniku

Przepisy dotyczące odpowiedzialności za szkodę jądrową zawarte w treści Załącznika są oparte na regułach wspólnych zarówno dla Konwencji wiedeńskiej, jak i Konwencji paryskiej, czyli:

- odpowiedzialność operatora urządzenia jądrowego jest wyłączna, oparta na zasadzie ryzyka i ma charakter odpowiedzialności absolutnej (art. 3 Załącznika);

- odpowiedzialność operatora jest ograniczona kwotowo do kwoty nie niższej niż 300 milionów SDR⁹ (art. 4 Załącznika);
- operator zobowiązany jest do posiadania stosownego zabezpieczenia finansowego, poprzez posiadanie odpowiedniej polisy ubezpieczeniowej lub innej formy zabezpieczenia finansowego (art. 5 Załącznika);
- ograniczenie odpowiedzialności w czasie (art. 9 Załącznika).

Treść postanowień Załącznika opiera się w większości na odpowiednich postanowieniach Konwencji wiedeńskiej. Jednakże należy zaznaczyć, że regulacje dotyczące przewozu są częściowo oparte na odpowiednich postanowieniach Konwencji paryskiej¹⁰.

Artykuł 6 ust. 1 Załącznika stanowi, że „w odniesieniu do incydentu jądrowego podczas przewozu maksymalna kwota odpowiedzialności operatora jest regulowana prawem krajowym państwa urządzenia”. Wydaje się, że jest to zwykłe przekształcenie zasady zawartej w art. 4 ust. 3, zgodnie z którą kwoty odpowiedzialności ustalone przez państwo urządzenia mają zastosowanie „wszędzie tam, gdzie zachodzi incydent jądrowy”. Tożsama zasada znajduje się również w art. V ust. 3 Konwencji wiedeńskiej.

Należy zaznaczyć, że pozostałe dwa ustępy art. 6 nie zawierają odpowiednich postanowień Konwencji wiedeńskiej i nie zostały one ujęte w Protokole zmieniającym Konwencję wiedeńską. W związku z tym niektóre delegacje państw proponowały wprowadzenie tych przepisów do głównej części konwencji, zamiast do Załącznika. Takie rozwiązanie powodowałoby, że miałyby one zastosowanie do wszystkich państw, w tym również do stron Konwencji wiedeńskiej, które byłyby stroną konwencji ramowej. Wskazywano wówczas, że najlepszym sposobem na osiągnięcie równości Konwencji wiedeńskiej i paryskiej byłoby zawarcie przepisów ustanowionych w Załączniku w treści Protokołu zmieniającego Konwencję wiedeńską. Ostatecznie, mimo że podjęto decyzję o pozostawieniu tych przepisów w Załączniku, nie wprowadzono ich odpowiednika do Protokołu zmieniającego Konwencję wiedeńską. Powodów tej decyzji nie uzasadniono.

Artykuł 6 ust. 2 stanowi, że państwo-strona **może uzależnić zgodę** na przewóz materiałów jądrowych przez swoje terytorium **od zwiększenia maksymalnej kwoty odpowiedzialności** zainteresowanego podmiotu zagra-

nicznego, jeżeli uzna, że kwota ta nie pokrywa w wystarczającym stopniu związanego z nią ryzyka. Jednakże maksymalna kwota w ten sposób zwiększona będzie mieć zastosowanie tylko do zdarzeń mających miejsce na terytorium państwa, w którym odbywa się przewóz, ponadto nie może ona przekroczyć maksymalnej kwoty odpowiedzialności operatorów urządzeń jądrowych znajdujących się na terytorium tego państwa.

Ponadto, art. 6 ust. 3 wyłącza stosowanie ust. 2 w dwóch przypadkach: pierwszy dotyczy **przewozu drogą morską**, jeżeli zgodnie z prawem międzynarodowym istnieje prawo wjazdu do portów państw-stron w sytuacjach niecierpiących zwłoki lub przysługuje prawo nieszkodliwego przepływu przez terytorium¹¹.

Drugi przypadek odnosi się do **przewozu drogą lotniczą**, jeżeli za zgodą danego państwa lub zgodnie z prawem międzynarodowym istnieje prawo do przelotu nad terytorium państwa-strony lub lądowania na tym terytorium.

Należy zatem zauważyć, że specyficzny międzynarodowy reżim odpowiedzialności za szkody jądrowe nie daje literalnie prawa do wjazdu na terytorium jednego z państw-stron. Jedynie w przypadku, gdy takie prawo przysługuje na mocy obowiązującego prawa międzynarodowego, przewóz materiału jądrowego może być obarczony specjalnymi warunkami.

Poza art. 6 postanowienia Załącznika są mniej szczegółowe niż odpowiednie regulacje Konwencji paryskiej lub wiedeńskiej, pozostawiając tym samym większą swobodę w zakresie stanowienia prawa krajowego przez państwa-strony. Należy również zaznaczyć, że w treści Załącznika nie znalazły się wszystkie postanowienia zawarte w Protokole zmieniającym Konwencję wiedeńską, co za tym idzie, nie wszystkie wypracowane rozwiązania mające na celu zwiększenie zakresu odpowiedzialności za szkodę jądrową zostały zaimplementowane, podtrzymując tym samym różnice pomiędzy systemem paryskim, wiedeńskim i opartym na Załączniku do konwencji ramowej.

Do pominiętych postanowień należą w szczególności następujące:

- Katalog urządzeń jądrowych, które znajdują się w art. 1 ust. 1 pkt b Załącznika, jest tożsamy z analogicznym przepisem niezmodyfikowanej Konwencji wiedeńskiej.

⁹ SDR oznacza *Special Drawing Right*, czyli specjalne prawo ciągnięcia. Jest to międzynarodowa jednostka rozrachunkowa, umowna jednostka monetarna, mająca charakter pieniądza bezgotówkowego, czyli istniejącego wyłącznie w postaci zapisów księgowych na bankowych rachunkach depozytowych. Jest to pieniądz wyłącznie rozrachunkowy i nie występuje jako fizyczna waluta znajdująca się w obrocie gospodarczym. SDR-y stanowią zagraniczne aktywa rezerwowe tworzone przez Międzynarodowy Fundusz Walutowy i przydzielane jego członkom w celu uzupełnienia posiadanych przez nich oficjalnych aktywów rezerwowych. Mogą należeć wyłącznie do władz monetarnych krajów członkowskich MFW oraz ograniczonej liczby międzynarodowych instytucji finansowych, które są ich uprawnionymi posiadaczami. W pierwszym kwartale 2018 roku 1 SDR wynosił ok. 1,45 USD, 1,180 EUR, 4,98 PLN. W chwili sporządzenia Konwencji wiedeńskiej kurs 1 SDR wynosił 1,17 USD.

¹⁰ Art. 7 lit. d-f Konwencji paryskiej.

¹¹ W tym kontekście termin „terytorium”, został również użyty w art. 7 lit. f Konwencji paryskiej i odnosi się do terytorium morskiego państwa-strony, tj. jego wód wewnętrznych i terytorialnych. W przypadku tak zwanego państwa archipelagowego „terytorium morskie” państwa-strony obejmowałoby również jego „wody archipelagowe”, w przypadku gdy archipelagowe linie podstawowe zostały wytyczone zgodnie z art. 47 Konwencji o prawie morza. Prawo do nieszkodliwego przepływu przysługuje na wodach wewnętrznych państwa jedynie w wyjątkowych sytuacjach, podczas gdy przysługuje ono z reguły na morzu terytorialnym państwa i na wodach archipelagowych państwa archipelagowego.

- **Wyłączono** w Załączniku możliwość stosowania przepisów o odpowiedzialności za szkodę jądrową niezależnie od miejsca, gdzie została ona doznana. Pozostawiono jednak państwu-stronie możliwość wyłączenia stosowania przepisów o odpowiedzialności za szkody jądrowe, doznane na terytorium państw niebędących stroną żadnego z systemów odpowiedzialności, niezależnie od tego, czy te państwa posiadają na swoim terytorium urządzenie jądrowe, czy też nie.
- Art. 3 ust. 5 pkt b Załącznika, podobnie jak odpowiadający mu przepis w niezmodyfikowanej Konwencji wiedeńskiej, wyłącza odpowiedzialność operatora z tytułu szkód spowodowanych przez zdarzenie jądrowe bezpośrednio spowodowane poważną klęską żywiołową o wyjątkowym charakterze, chyba że prawo krajowe państwa urzędnika stanowi inaczej.
- Art. 9 Załącznika, podobnie jak odpowiednie postanowienie niezmodyfikowanej Konwencji wiedeńskiej, przewiduje ogólny dziesięcioletni okres przedawnienia roszczeń odszkodowawczych i nie przewiduje dłuższego okresu przedawnienia w odniesieniu do szkód na osobie, tj. utraty życia i uszkodzenia ciała¹². Z drugiej strony, art. 9 ust. 2 Załącznika, analogicznie jak niezmodyfikowana Konwencja wiedeńska, przewiduje odrębny dwudziestoletni okres przedawnienia w odniesieniu do roszczeń odszkodowawczych z tytułu szkody spowodowanej zdarzeniem z udziałem materiału jądrowego, który został skradziony, zagubiony, wyrzucony lub porzucony. Warto odnotować, że amerykański „projekt ramowy” przewidywał trzydziestoletni okres przedawnienia w odniesieniu do utraty życia lub uszkodzenia ciała, zaś „scalony projekt” zawierał alternatywne propozycje przepisów regulujących tę kwestię, tożsamych z proponowanymi zmianami Protokołu zmieniającego Konwencję wiedeńską. Mimo podnoszenia przez grono ekspertów, że zastosowanie regulacji Protokołu zmieniającego Konwencję wiedeńską przyczyni się do lepszej ochrony prawnej potencjalnych poszkodowanych, podczas czternastej sesji Komitetu ostatecznie zdecydowano o zastosowaniu postanowień z pierwotnego brzmienia Konwencji wiedeńskiej.
- Załącznik nie przewiduje obowiązku przepisu przyznania pierwszeństwa w podziale odszkodowania w celu zadośćuczynienia roszczeniom z tytułu śmierci lub uszkodzenia ciała, jednakże w przypadku, gdy okres przedawnienia dochodzenia roszczeń z tytułu szkody na osobie jest dłuższy niż 10 lat, nakłada na państwa-strony obowiązek zasądzenia sprawiedliwego odszkodowania w możliwie jak najkrótszym czasie. Jest to swoisty przy-

wilej dla poszkodowanych, jednakże jest on ograniczony w czasie – obowiązywać będzie jedynie w ciągu 10 lat od zaistnienia wypadku jądrowego¹³.

Pozostawienie przez Załącznik państwom-stronom **większego zakresu swobody przy stanowieniu prawa krajowego** można wytłumaczyć wolą twórców konwencji ramowej do zwiększenia jej powszechnego stosowania w celu zapewnienia związku pomiędzy krajami o odmiennych systemach odpowiedzialności za szkodę jądrową, określając tym samym „**minimalne, podstawowe kryteria, którymi powinny charakteryzować się krajowe lub międzynarodowe systemy odpowiedzialności za szkodę jądrową**”. W celu umożliwienia tej powszechnej przynależności do globalnego reżimu odpowiedzialności wprowadzono również regułę stosowania dotychczasowych klauzul.

Reguła stosowania dotychczasowych klauzul

Załącznik do konwencji w art. 3 ust. 9 i 10 przewiduje **wyłączną odpowiedzialność operatora obiektu jądrowego**. Jednakże, w celu umożliwienia ratyfikacji konwencji przez Stany Zjednoczone, bez konieczności zmiany swojego wewnętrznego ustawodawstwa, która opiera się na **koncepcji ekonomicznego skupienia odpowiedzialności**, w odróżnieniu do powszechnie stosowanej zasady prawnie skanalizowanej odpowiedzialności operatora jądrowego, do art. 2 Załącznika zaimplementowano tak zwaną *grandfather clause*, którą można przetłumaczyć jako „regułę stosowania dotychczasowych klauzul”. Zastosowanie jej potencjalnie ma się odnosić do wszystkich zainteresowanych państw ratyfikujących konwencję, w praktyce jednak jest ona przeznaczona jedynie dla Stanów Zjednoczonych, poprzez zastosowanie ostrego i precyzyjnego warunku zawierającego określenie konkretnych przepisów prawa krajowego obowiązujących na dzień 1 stycznia 1995 r. Wydaje się, że w owym czasie jedynie Stany Zjednoczone spełniały ten warunek, w związku z czym należy uznać, że w ten sposób w ramy umowy międzynarodowej włożono normy prawne obowiązujące tylko jedno państwo na świecie¹⁴.

Zgodnie z art. 2 ust. 1 Załącznika prawo krajowe umawiającej się strony uznaje się za zgodne z postanowieniami art. 3, 4, 5 i 7 Załącznika, jeżeli w dniu 1 stycznia 1995 r. zawierało ono przepisy:

- (a) przewidujące odpowiedzialność opartą na zasadzie ryzyka operatora jądrowego w przypadku wystąpienia szkody jądrowej;

¹²Termin „uszkodzenie ciała” należy traktować tożsamo z pojęciem „rozstroju zdrowia”, ponieważ wszelkie kłopoty zdrowotne wiążą się z anomaliami w ludzkim ciele. Wyłączono tym samym z zakresu szkody jądrowej dolegliwości niefizyczne, lecz mające swoje podłoże w ludzkiej psychice, takie jak poczucie zagrożenia, apatia, stres lub choroby psychiczne.

¹³Reguła przedawnienia i wygaśnięcia roszczeń z tytułu szkody jądrowej w wewnętrznych porządkach prawnych państw jest sformułowana w różnorodny sposób. Przykładem może być Polska, gdzie regułą wygaśnięcia roszczeń jest 10 lat, jednakże szkody na osobie nie ulegają przedawnieniu.

¹⁴Treść reguły stosowania dotychczasowych klauzul opracowana już była na etapie „scalonego projektu”, w celu uwzględnienia amerykańskiej ustawy *Price Anderson Act*; żadna ze stron biorących udział w pracach nad konwencją nie wniosła do tej propozycji sprzeciwu.

- (b) wymagające wypłaty odszkodowania od każdej osoby innej niż podmiot odpowiedzialny, jeśli osoba ta na mocy prawa jest zobowiązana do jego wypłaty;
- (c) posiadania zabezpieczenia finansowego w wysokości co najmniej 1 miliarda SDR w odniesieniu do elektrowni jądrowej i co najmniej 300 milionów SDR w odniesieniu do innych urządzeń jądrowych.

Na podstawie tej klauzuli zezwala się Stanom Zjednoczonym na odstąpienie od przepisów Załącznika dotyczących:

- odpowiedzialności operatora (art. 3),
- kwot odpowiedzialności (art. 4),
- posiadanego zabezpieczenia finansowego (art. 5),
- odpowiedzialności więcej niż jednej osoby zobowiązanej (art. 7).

Ponadto zgodnie z art 2 ust. 2 i 3 reguła stosowania dotychczasowych klauzul pozwala, aby Stany Zjednoczone stosowały zmodyfikowaną definicję urządzenia jądrowego oraz szerszą definicję szkody jądrowej, rozszerzając jej katalog o „inne rodzaje szkody”, do których można zaliczyć rozstrój zdrowia psychicznego

Należy jednak zauważyć, że *Price-Anderson Act* swą treścią obejmuje wszystkie wypadki jądrowe mogące mieć miejsce na terenie Stanów Zjednoczonych, natomiast zdarzenia jądrowe poza Stanami Zjednoczonymi jedynie wówczas, gdy wynika to z działalności prowadzonej w imieniu Departamentu Energii USA z udziałem materiałów jądrowych będących w posiadaniu przez Stany Zjednoczone lub w następstwie działalności objętej dozorem US Nuclear Regulatory Commission. Oznacza to, że ustawa ta nie obejmuje wszystkich zdarzeń, w odniesieniu do których sądy amerykańskie mogłyby być właściwe w ramach konwencji ramowej.

Artykuł 2 ust. 4 Załącznika stanowi, że „jeżeli prawo krajowe umawiającej się strony, które jest zgodne z ustępem 1 niniejszego artykułu, nie ma zastosowania do wypadku jądrowego, który ma miejsce poza terytorium tej umawiającej się strony, ale nad którym sądy tej umawiającej się strony mają jurysdykcję zgodnie z art. XIII niniejszej konwencji, stosuje się art. od 3 do 11 Załącznika i mają one pierwszeństwo przed wszelkimi sprzecznymi postanowieniami właściwego prawa krajowego”. Oznacza to, że reguła stosowania dotychczasowych klauzul ma zastosowanie jedynie w zakresie, w jakim obowiązuje ustawa *Price-Anderson Act*, w innych zaś sytuacjach, w których sądy amerykańskie zostaną uznane za właściwe na podstawie przepisów konwencji, będą one zobligowane do stosowania wszelkich norm prawa materialnego zawartych w treści Załącznika, w tym przepisów dotyczących skanalizowanej odpowiedzialności operatora jądrowego. Przepis ten będzie miał szczególne zastosowanie w przypadku wystąpienia na terenie USA szkody spowodowanej

w czasie transportu materiałów jądrowych lub wypalonego paliwa z innego kraju.

Członkostwo w konwencji ramowej

Aktualnie jedynie 10 państw wyraziło gotowość do uczestnictwa w konwencji ramowej jako państwo-strona, przy czym pięć zgłosiło zastrzeżenia do jej treści. Zastrzeżenie przez dane państwo podpisujące traktat daje wyraz odmowie uznawania określonych postanowień za wiążące bądź modyfikuje ich stosowanie. Stronami konwencji ramowej są (w porządku alfabetycznym): Argentyna, Czarnogóra, Ghana, Indie, Japonia, Kanada, Maroko, Rumunia, Stany Zjednoczone oraz Zjednoczone Emiraty Arabskie. Zastrzeżenia do postanowień konwencji zgłosiły Indie, Japonia, Kanada, Stany Zjednoczone oraz Zjednoczone Emiraty Arabskie.

Notka o autorze

Mgr Maciej Lemiesz – absolwent Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Łódzkiego, Referendarz Departamentu Bezpieczeństwa Jądrowego Państwowej Agencji Atomistyki.

Literatura

1. Convention on Nuclear Safety z dnia 20 września 1994 r.
2. Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage z dnia 12 września 1997 r.
3. Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy z dnia 29 lipca 1960 r.
4. 1963 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage z dnia 21 maja 1963 r. z późniejszymi zmianami.
5. Price-Anderson Nuclear Industries Indemnity Act z dnia 2 września 1957 r.
6. Protocol to Amend the 1963 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage z dnia 12 września 1997 r.
7. Protocol to Amend the Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy of 29 July 1960, as Amended by the Additional Protocol of 28 January 1964 and by the Protocol of 16 November 1982 z dnia 29 lipca 1960 r.
8. Majda R., *Cywilna odpowiedzialność za szkodę jądrową w polskim prawie atomowym*, Łódź 2006, s. 10–113.
9. Pelzer N., *Focus on the Future of Nuclear Liability Law*, [w]: *Reform of the Civil Nuclear Liability, Budapest Symposium 1999*, Paryż 2000, s. 430.
10. Schwarz J., *International Nuclear Third Party Liability Law: The Response to Chernobyl*, [w]: *International Nuclear Law in the Post-Chernobyl Period*, OECD, 2006, s. 37–72.
11. Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., *Handbook on Nuclear Law*, Wiedeń 2003, s. 107–118.
12. The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage – Explanatory Texts, IAEA International Law Series No. 3 (Revised), Wiedeń 2017, s. 61–68.
13. United Nations Convention on the Law of the Sea z dnia 10 grudnia 1982 r.

Radioliza w składowiskach odpadów promieniotwórczych

Wojciech Głuszewski
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie

Wstęp

W artykule omówiono wyniki badań nad emisją wodoru powstającego na skutek radiolizy materiałów deponowanych w składowisku odpadów promieniotwórczych. Temat został zlecony Instytutowi Chemii i Techniki Jądrowej (IChiTJ) w Warszawie przez Narodowe Laboratorium Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych – Los Alamos National Laboratory (w skrócie: Los Alamos lub LANL). Prace miały związek z eksploatacją WIPP (*Waste Isolation Pilot Plant*), pilotażowego geologicznego zakładu składowania odpadów promieniotwórczych, znajdującego się około 26 mil (42 km) na wschód od miejscowości Carlsbad w Nowym Meksyku, który uzyskał licencję na składowanie odpadów. Szacuje się, że mogłyby one bezpiecznie pozostawać w składowisku nawet przez 10 000 lat¹. Okres zbierania przewidziano wstępnie na 35 lat. Głębokie na 655 m podziemne repozytorium zbudowane zostało w soli kamiennej w latach 80. ubiegłego wieku. Cały zakład unieszkodliwiania na powierzchni zajmuje obszar 16 mil kwadratowych (41,5 km²). Rozpoczął on działalność w roku 1999 i przyczynił się w pierwszej kolejności do likwidacji 22 tymczasowych przechowalników promieniotwórczych odpadów z okresu zimnej wojny.

Radioliza

Sztuczne i naturalne tworzywa polimerowe trafiają do składowisk odpadów promieniotwórczych jako np. zużyte ubrania ochronne, materiały i sprzęt laboratoryjny, wyroby medyczne jednorazowego użytku, pojemniki, opakowania, odczynniki chemiczne, dokumenty itd. Tworzywa polimerowe stosuje się również jako dodatki uszlachetniające beton. Potencjalnym zagrożeniem pożarowym jest wodór,

główny gazowy produkt radiolizy większości materiałów. Prowadzone na zlecenie LANL badania miały na celu określenie szacunkowej objętości H₂, jaka może być wygenerowana w podziemnym składowisku w przyjętym umownie do analiz okresie 10 000 lat [1, 2].

Prace nad wpływem promieniowań emitowanych przez radionuklidy na różne materiały prowadzone są od lat. Okazało się jednak, że uzyskanie bardzo dużych dawek ze źródeł radioizotopowych jest trudne i eksperymentalnie nieopłacalne w warunkach LANL. Przyjęto więc propozycję IChiTJ zasymulowania warunków narażenia na różne dawki za pomocą wiązki elektronów przyśpieszanej w urządzeniu akceleratorowym. Głównym negocjatorem kontraktu był nieżyjący już prof. dr hab. Zbigniew P. Zagórski, promotor pracy doktorskiej mgr inż. Jacka Dziewińskiego, który odpowiadał w LANL za gospodarkę odpadami powstałymi jeszcze w latach 1947–1991 [3].

Jak ważna jest znajomość chemii, w tym chemii radiacyjnej, w kontekście odpadów promieniotwórczych, świadczy incydent, który miał miejsce 14 lutego 2014 roku w składowisku w Carlsbadzie. W wyniku wzrostu ciśnienia spowodowanego egzotermiczną reakcją oderwana została pokrywa od jednej z beczek i uwolniona stosunkowo niewielka (7 uncji, około 200 g) ilość plutonu i ameryku. W efekcie składowisko przerwało prace na okres blisko trzech lat. Koszty prac dekontaminacyjnych szacowane są na 1,5 miliarda dolarów. WIPP dopiero w styczniu 2017 roku podjął znowu działalność.

WIPP

Pierwotnie Amerykańska Komisja Energii Atomowej (połączona następnie z Departamentem Energii) planowała zbudowanie składowiska odpadów promieniotwór-

¹ Przyjmowanie do analiz tak długiego okresu ma uzasadnienie w przypadku odpadów wysokoaktywnych, długożyciowych i wypalonego paliwa jądrowego. W przypadku odpadów nisko- i średnioaktywnych przyjmuje się zwykle do analiz okres rzędu 500 lat (przyj. red.).

czych w Lyons w Stanie Kansas. Protestowali przeciwko temu tamtejsi mieszkańcy. Ostatecznie zrezygnowano z tego projektu po odkryciu w tamtej okolicy złóż gazu i ropy naftowej. W roku 1973 US-DoE (*the United States Department of Energy*) zaproponował wykorzystać do składowania odpadów pokłady soli o grubości 600 m znajdujące na pustyni Chihuahuan w pobliżu Carlsbadu. Powstały one w okresie permu około 250 milionów lat temu. Dawne morze znajdujące się na tym obszarze po odparowaniu pozostawiło prawie nieprzepuszczalną warstwę soli. Z czasem została ona pokryta przez grube na 300 metrów warstwy gleby i skał. Można przyjąć, że skoro pokłady soli przetrwały do dzisiaj, to również w przyszłości nie będą narażane na działanie wody. Składowanie odpadów w soli kamiennej ma dodatkową zaletę spowodowaną zjawiskiem tzw. pelzania. Na pewnej głębokości sól pod wpływem nacisku warstw ziemi ulega plastycznemu odkształceniu, co w praktyce prowadzi do uszczelniania i wypełniania otworów powstających w wyniku prac górniczych i deponowania pojemników. Inaczej mówiąc, po zakończeniu działalności składowiska, w stosunkowo niedługim czasie, zgromadzone w nim beczki zostaną zamknięte warstwą soli jak sardynki w puszcze. Mniej praktycznym aspektem tego zjawiska jest konieczność instalowania podpór, które gwarantują odpowiednią wysokość pomieszczeń do momentu wypełnienia ich przez pojemniki. Konieczne jest również stałe wycinanie fałd soli powstających na styku ścian bocznych z podłożem. Zabiegi te wykonują specjalne maszyny (fot. 1). Otrzymywana w ten sposób sól może się stać pamiątką z pobytu w Carlsbadzie (fot. 2).

WIPP stał się monopolistą w składowaniu odpadów z produkcji zbrojeniowej, gdy w roku 2010 US-DoE zrezygnował z wcześniejszych planów rozbudowy zakładu Yucca Mountain w Nevadzie.



Fot. 1. Maszyna do wybierania soli narastającej w wyniku tzw. poślizgu.



Fot. 2. Kawatki soli ze składowiska odpadów promieniotwórczych w Carlsbadzie będące w posiadaniu autora.

Wodór jako produkt radiolizy

Odłączanie gazowego wodoru od materiału zawierającego wodór w temperaturze otoczenia jest zjawiskiem nieznanym w konwencjonalnej chemii. Dotyczy to dowolnych związków zarówno nieorganicznych, jak i organicznych (polimerów). Co prawda pojawia się on w temperaturze pokojowej, jako produkt biologicznych procesów metabolicznych, ale temat ten wykracza poza zakres artykułu. Oczywiście wodór można oderwać od polimerów, ale wymaga to ich podgrzania znacznie powyżej temperatury topnienia lub rozkładu.

Zupełnie unikatowe w tym kontekście są zjawiska emisji H_2 zachodzące w dowolnej temperaturze w wyniku działania promieniowania jonizującego. Zwykle są to temperatury pokojowe, ale równie dobrze można zastosować warunki kriogeniczne. Jak wytłumaczyć ten fenomen? Energia promieniowania jonizującego pochłaniana jest przez materię w dowolnym stanie skupienia w sposób heterogeniczny. Odkładana jest ona w tzw. gniazdach jonizacyjnych, które odległe są przy relatywnie wysokich energiach elektronów na kilkadziesiąt tysięcy atomów. Nie ma tu znaczenia rodzaj promieniowania jonizującego. Niezależnie, czy zastosujemy promieniowanie elektromagnetyczne (γ , X), czy wiązkę elektronów (EB – *electrons beam*), niemal cała energia przekazywana jest przez wtórne elektrony [4]. Tak więc, mimo że np. tworzywo polimerowe przy dawce 25 kGy podgrzewa się zaledwie o kilka stopni, to warunki panujące w gnieździe jonizacji odpowiadają zjawiskom przebiegającym w klasycznej chemii w skrajnych warunkach technologicznych. Dzięki temu można wykorzystywać techniki radiacyjne np. do zwalczania patogenów w procesach tzw. zimnej sterylizacji wyrobów medycznych, utrwalania żywności czy konserwacji dzieł sztuki. W wyniku działania promieniowania jonizującego następuje wybite elektronu (jonizacja) lub tworzy się stan wzbudzony. W przypadku tworzyw poliolefinowych nadmiar energii na atomie węgla prowadzi do oderwania wodoru. W obrębie tzw. gniazd wielojoniza-

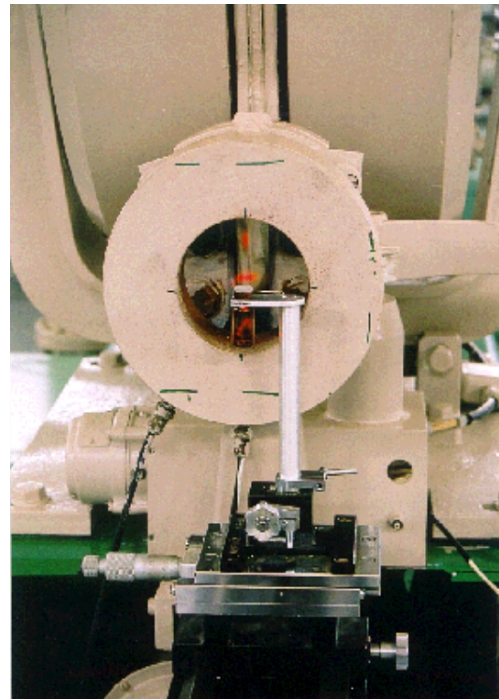
cyjnych powstają również małowcząsteczkowe produkty bezpośredniej degradacji polimeru, ale stanowią one ułamek procenta produktów gazowych [5]. Wynikiem degradacji może być również metan, tlenek węgla, a w przypadku PCW i teflonu związki chloru i fluoru. Zjawiska zachodzące w wyniku działania elektronów o dużym LET (*linear energy transfer*) w pewnym przybliżeniu odpowiadają oddziaływaniu na polimery promieniowania alfa (α). Szacuje się, że gniazda wielojonizacyjne stanowią 20% odłożonej przez elektrony energii. W radiolizie najczęściej stosowanych obecnie tworzyw poliolefinowych dominuje cząsteczkowy wodór, który bezpowrotnie opuszcza napromieniany materiał. Utworzony w wyniku oderwania atomu wodoru wolny rodnik (ściślej mówiąc makrorodnik) ma podstawowe znaczenie dla procesów modyfikacji polimerów, a w przypadku monomerów – indukowanej radiacyjnie polimeryzacji. Unikatowość zjawiska polega na tym, co jeszcze raz podkreślam, że efekt ten można uzyskać w dowolnej temperaturze.

Uwolnienie wodoru pod wpływem promieniowania jonizującego obserwowano najpierw w układach wodnych. Po raz pierwszy rozkład H_2O na H_2 i O_2 w obecności soli radu opisała Maria Skłodowska-Curie [6]. Zjawisko podobne było do elektrolizy, stąd zaproponowany przez uczoną termin radioliza. Obecnie oznacza on ogół procesów chemicznych zachodzących w wyniku działania promieniowania jonizującego na materię. Rozkład wody w wybuchową mieszaninę wodoru z powietrzem stał się przedmiotem troski i zapoczątkował badania nad zmniejszeniem wydajności tego zjawiska. Później również inne materiały były badane z tego punktu widzenia, zwłaszcza związki organiczne w kontekście przechowywania odpadów radioaktywnych w asfalcie [7]. Prace te pokazują, jak skomplikowane i trudne są badania oddziaływania na materię promieniowania alfa i jak skuteczna i wygodna może być symulacja tych efektów przez promieniowanie elektronowe. Zastosowanie wiązki elektronów pozwala prowadzić eksperyment przy bardzo różnych dawkach, symulując dowolne stężenia radionuklidów [8].

Zjawisko odrywania wodoru występuje w gazach, cieczach i ciałach stałych, ale te ostatnie, rozpuszczając się np. w wodzie, mogą wykazywać zupełnie inne zachowanie, ponieważ radioliza rozpoczyna się od głównego składnika układu, w tym przypadku rozpuszczalnika. Woda pochłania najwięcej energii jonizującej, a jej reaktywne produkty wchodzi w reakcję z substancją rozpuszczoną, np. z makrocząsteczkami.

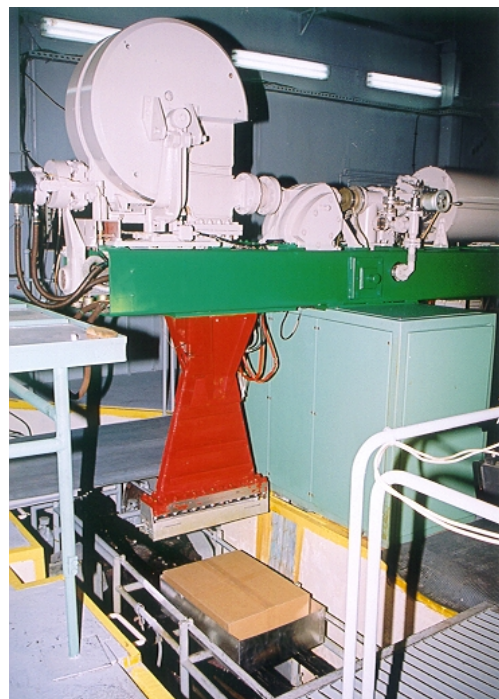
Warunki eksperymentu

Wykorzystanie chromatografii gazowej do analizy wydzielanego w wyniku radiolizy wodoru wymagało specjalnego podejścia do techniki napromieniowania wiązką elektronową (EB). Próbkę różnych materiałów były umieszczane



Fot. 3. Stanowisko do napromieniowywania próbek wiązką prostą elektronów przyspieszanych przez akcelerator LAE 13/9.

w zamkniętych septach szklanych fiolkach o objętości 3 ml. Penicylinówki napełniano w jednej trzeciej objętości i tylko ta część była traktowana prostą wiązką elektronów z liniowego akceleratora elektronów LAE 13/9. Pozostawiano nietkniętą gumową septę. Technika ta pozwala na zastosowanie małych dawek energii promieniowania poprzez wyzwalanie pojedynczych impulsów wiązki elektronów. Na fotografiach 3 i 4 przedstawiono stanowisko pomiarowe.



Fot. 4. Wiązka przemiatana elektronów zakrzywiona o 270° . Można w tym przypadku otrzymać elektrony o określonej dokładnie energii, np. 13 MeV.

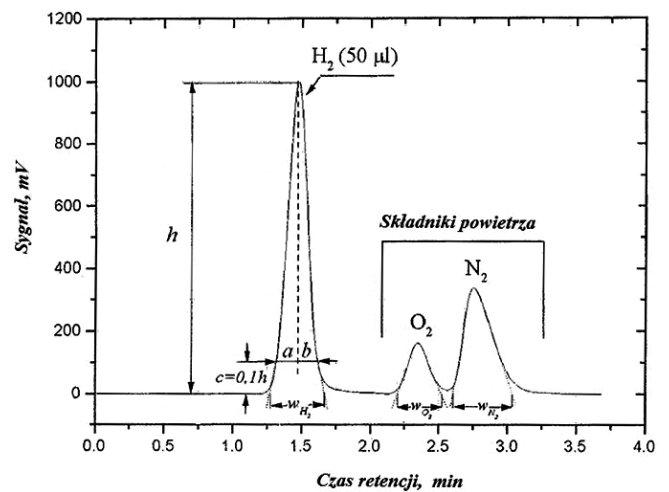
Położenie buteleczki było pozycjonowane wiązką laserową (widoczny na fotografii czerwony ślad). Wcześniej za pomocą folii z polichlorku winylu, który zmienia barwę w wyniku napromieniowania, ustalano optymalne położenie próbek. Zastosowanie prostej wiązki elektronów, a co za tym idzie – większa heterogeniczność pola napromieniowania, stworzyły pewne problemy z dozymetrią. Rozwiązano je, stosując w oryginalny sposób alaninowy proszek. Pomiary wykonywano za pomocą spektroskopii absorpcyjnej w wersji odbiciowej światła rozproszonego (DRS – *diffuse reflectance spectroscopy*). Zasada metody polega na tym, że wolny rodnik pochodzący z alaniny wykazuje widmo absorpcji optycznej, którego intensywność w zakresie do 300 kGy jest proporcjonalna do wielkości dawki pochłoniętej. Zastosowanie wielu impulsów wiązki prostej pozwalało odłożyć w materiale również bardzo duże dawki (do 1000 kGy). Przy umiarkowanych dawkach wygodniejsza okazała się wiązka przemieszczana, zakrzywiona wcześniej o kąt 270°.

Próbki umieszczano wówczas w pojemniku aluminiowym poruszającym się na transporterze pod oknem akceleratora. Septy w tym przypadku były pokryte grubym kapturem wykonanym z ołowiu. Eksperyment z pustą fiolką nie wykazał obecności wodoru, a co za tym idzie, znaczącego napromieniowania gumowej zatyczki. Bardzo małe dawki uzyskiwano w kobaltowym źródle promieniowania gamma Issledovatel.

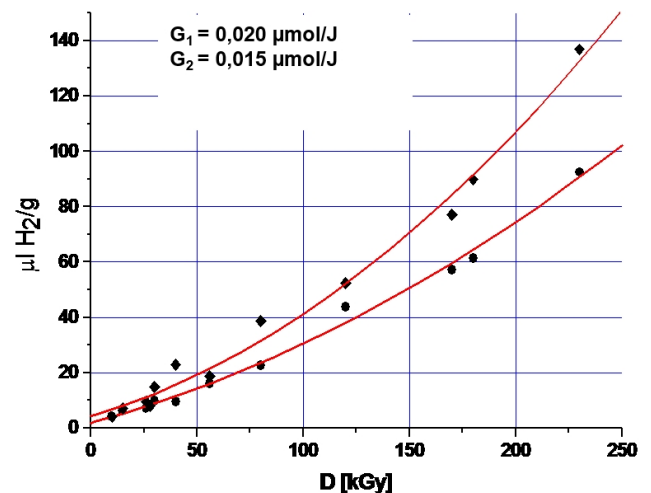
Szczegóły techniczne oznaczania wodoru

Chociaż oznaczanie wodoru w fazie gazowej nad napromieniowanym polimerem jest możliwe za pomocą spektrometrii masowej, to najbardziej odpowiednią metodą okazała się chromatografia gazowa. Chromatograf produkcji japońskiej GC Shimadzu-2014 został zainstalowany w klimatyzowanym i termostatowanym pomieszczeniu (23,5°C). Kolumna pakowana wypełniona była sitami molekularnymi 5A i miała długość 1 m. Wykorzystano detektor termoprzewodnościowy (TCD-2014). Chromatograf przyłączono za pomocą interfejsu do komputera PC, gdzie dane były zbierane i opracowywane przez program CHROMAX. Gazem nośnym był argon (99,99%). Do kalibracji zastosowano wodór 99,99%. Operacje wykonano za pomocą strzykawkę o objętościach: 10, 25 i 500 μ l. Szybkość przepływu gazu nośnego wynosiła 10 ml/min. Na rysunku 1 podano przykładowy chromatogram – wynik oznaczania wodoru. Przy okazji otrzymujemy również piki odpowiadające składnikom powietrza (O_2 , N_2). Na rysunku 2 pokazano przykładowe zależności objętości wydzielanego wodoru od dawki pochłoniętej promieniowania dla wełny. Na ich podstawie obliczano średnią wydajność radiolizy białek (keratyny, kolagenu) w badanym zakresie dawek.

Wyniki badań podano w starych jednostkach oznaczających w tym przypadku liczbę cząsteczek wodoru powsta-



Rys. 1. Przykładowy chromatogram otrzymany przy analizie wodoru. Pole powierzchni pików jest proporcjonalne do ilości oznaczanego wodoru.



Rys. 2. Przykładowe zależności objętości wodoru od wielkości dawki. Przedmiotem badań były dwa rodzaje naturalnej wełny. Wydajności są średnio 10 razy mniejsze w porównaniu z radiolizą polipropylenu.

jących w wyniku pochłonięcia 100 eV energii promieniowania. W drugiej kolumnie zapisano wydajności zgodnie z układem SI, gdy liczbę sztuk określamy w molach ($6,022 \cdot 10^{23}$ sztuk/mol), a energię w dżulach. Jeżeli mole przeliczymy na objętość ($22,4 \text{ dcm}^3/\text{mol}$) i założymy dawkę pochłoniętą 100 kGy, to ze 100 kilogramów polimeru (przy wydajności 0,4 mol/J) wydzieli się około 90 ml wodoru. Dolna granica wybuchowości dla mieszaniny wódor/powietrze to 4%. Biorąc pod uwagę, że przyjęta dawka promieniowania jest bardzo duża, a moc dawki raczej mała, to praktycznie niemożliwe jest, aby radioliza doprowadziła do zgromadzenia niebezpiecznej objętości wodoru. Można teoretycznie brać pod uwagę synergii innych czynników, takich jak wysoka temperatura, wyładowanie między materiałem beczki a polimerem. Należy dodać, że tworzywa sztuczne działają jak kondensator i zbierają elektrony powstające w wyniku napromieniowania (jonizacji). Takie wyładowania mogą doprowadzić np. do uszkodzenia urządzeń elektronicznych w warunkach kosmicznych [9].

Tabela 1. Chemoradiacyjne wydajności wodoru niektórych polimerów i związków chemicznych, mogących potencjalnie znaleźć się w składowisku odpadów promieniotwórczych oraz stosowanych jako izolacje kabli elektrycznych.

Rodzaj związku chemicznego	/100 eV	μmol/J
PP pierwotny	3,90	0,40
PP izotaktyczny	2,51	0,26
PP syndiotaktyczny	3,23	0,33
Parafilm	3,25	0,34
Borealis FA 3220	3,96	0,41
Borealis FT 5230	4,68	0,49
NBR N33	1,17	0,12
Therban A3407	1,33	0,14
Therban A4550	1,18	0,12
Alanina L	0,183	0,01897
Alanina LD	0,231	0,02384
Alanina	1,835	0,19018



Fot. 5. Ślad ładunku (elektronów), które w postaci iskry opuściły płytkę z polimetakrylanu metylu. Wcześniej materiał (kondensator) napromieniowano wiązką elektronów (napompowano elektronami powstającymi w wyniku jonizacji).

Incydent w WIPP

W piątek 14 lutego 2014 około godziny 23:14 odebrano sygnał alarmowy z systemu monitoringu powietrza. Alarm wskazywał na skażenie promieniotwórcze w pomieszczeniu będącym wówczas w trakcie zapełniania. Podziemny system wentylacji automatycznie przekierował powietrze z wnętrza składowiska na filtry HEPA (*high efficiency particulate air filter*). Część radionuklidów wydostała się jednak na zewnątrz do otoczenia przez nieszczelności wyciągów. Pod ziemią nie znajdował się żaden pracownik, a na zewnątrz przebywało jedynie 11 osób. Szczęściem w nieszczęściu było to, że prace w zakładzie wstrzymano

z powodu pożaru ciężarówki, który miał miejsce 5 lutego na poziomie składowiska, oraz planowego okresowego wyłączenia na czas konserwacji. Początkowo podejrzewano możliwość awarii radiometru, spowodowanej zatkaniem filtra. W tym czasie technicy kontroli radiologicznej pobrali próbki do badań z górnego i dolnego obiegu wentylacji. Wyniki otrzymane następnego dnia wskazywały w dolnej części wentylacji na aktywność 4,4 milionów rozpadów alfa na minutę (73,3 kBq) oraz na obecność transuranowców. Na wylocie instalacji wentylacyjnej otrzymano wartość 28 tysięcy rozpadów alfa na minutę (467 Bq) i 5900 rozpadów beta na minutę (98 Bq). 153 pracowników naziemnych wezwano do schronienia się w pomieszczeniach. Uruchomiono centrum informacji i zarządzania kryzysowego. O 15:57 stwierdzono brak skażenia radiologicznego na terenie ośrodka, ale o 16:12 potwierdzono obecność ^{229}Pu , ^{240}Pu i ^{241}Am na filtrach. O 16:35 zniesiono nakaz schronienia się w budynkach. Zbędny personel był systematycznie wypuszczany z terenu ośrodka, po wcześniejszym przejściu kontroli dozymetrycznej całego ciała. 16 lutego o godzinie 19:17 czasu lokalnego alarm odwołano.

24 lutego DoE podał wyniki dodatkowych pomiarów. Wskazywały one na niewielkie uwolnienie radionuklidów i emisję substancji promieniotwórczych do atmosfery, ale poniżej poziomów stanowiących zagrożenie dla ludzi lub środowiska. Brano pod uwagę możliwość wystąpienia narażenia na promieniowanie jonizujące u 21 osób ze 150 przebadanych. Jednak otrzymane dawki były jedynie nieznacznie większe od naturalnego promieniowania tła, w związku z czym nie oczekiwano wystąpienia żadnych

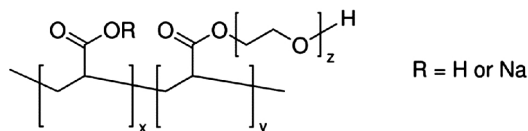


Fot. 6. Uszkodzona beczka LANL68660.

skutków medycznych. Początkowo zakładano, że rozszczelnienie pojemnika, lub pojemników, nastąpiło na skutek przebicia spowodowanego osunięciem się ściany lub sufitu składowiska. Utworzono osobną niezależną komisję do zbadania czynników mechanicznych i chemicznych, które mogły mieć wpływ na wypadek. Na przełomie kwietnia i maja do pomieszczenia nr 7 sektora 7, gdzie pierwotnie został wywołany alarm, po raz pierwszy od awarii weszli ludzie. Technicy zastali pomieszczenie nie naruszone. Dokonano oględzin z użyciem kamer na wysięgnikach pierwszych kilku rzędów beczek. Pojemniki nie były uszkodzone, ale zameldowano o rozerwaniu kilku worków z tlenkiem magnezu (adsorbentem i stabilizatorem umieszczanym dookoła pojemników z odpadami).

Dopiero w lutym 2015 roku definitywnie stwierdzono, że incydent był ograniczony do jednego pojemnika z odpadami. Za pomocą specjalnie opracowanego 27-metrowego wysięgnika kamery obejrzano uszkodzoną beczkę. Ostatecznie uznano, że wyciek został spowodowany przez egzotermiczną reakcję chemiczną, jaka zaszła w jednym z pojemników z odpadami z Los Alamos National Laboratory (LANL), oznaczonego jako LANL68660.

Znajdujące się w nim azotany skażone plutonem prze reagowały ze żwirkiem dla kotłów, dodawanym do beczek jako sorbent. Reakcja była egzotermiczna. Wytworzone ciepło spowodowało wzrost ciśnienia wewnątrz zbiornika, co doprowadziło do jego rozszczelnienia i wydostania się gazowych produktów promieniotwórczych. Wcześniej stosowano granulowany polimer o nazwie WasteLock 770.



Rys. 3. Wzór związku chemicznego stanowiącego główny składnik produktu o nazwie handlowej WasteLock 770. Zawiera on stosunkowo niewiele atomów H_2 , tak więc i wydajność radiolitycznie wydzielanego wodoru jest relatywnie mała.

Jest to tworzywo na bazie usieciowanych poliakrylanów, które pęcznieją w wyniku pochłonięcia wody. W 2012 roku LANL, chcąc wyeliminować palne organiczne substancje, zaleciło stosowanie związków mineralnych. Do tych celów można na przykład zastosować bentonit, osadową skałę ilastą, składającą się głównie z montmorylonitu. Jest to zresztą również główny składnik piasku dla kotłów produkowanego np. w Muszynie w Polsce pod nazwą Benek. Mineral pozyskiwany w tym przypadku na Słowacji jest powszechnie stosowany w wielu innych gałęziach przemysłu. Zastosowanie takiego stabilizatora było uzasadnione. Niestety wykonawcy źle przeczytali instrukcję. Zalecano naturalną, ale glinę. Tymczasem zrozumiano, że chodzi o ekologiczny (organiczny) adsorbent. Zastosowano w praktyce około 26 kg materiału marki WheatScoop, który reklamuje się jako podwójnie zielony (otrzymywany jest z produktów naturalnych i jest biodegradowalny).

Produkt ten otrzymywany z pszenicy zawiera węglowodany, które spowodowały reakcję z azotanami.

Wskutek opisanych wydarzeń czasowo zamknięto WIPP, a odpady z Los Alamos National Laboratory (LANL) już przeznaczone do wywiezienia zostały złożone w innym składowisku. W październiku 2014 roku ustalono „mapę drogową” przywrócenia funkcjonowania zakładu. Według niej WIPP miał zostać ponownie otwarty na początku 2016 roku. W sierpniu 2015 roku datę tę uznano jednak za niemożliwą do dotrzymania, z uwagi na konieczność wykonania wielu nowych prac rekomendowanych przez komisję powypadkową. Ponownego oficjalnego otwarcie składowiska dokonano ostatecznie 9 stycznia 2017 roku. Pierwszy nowy transport odpadów przybył do WIPP 10 kwietnia 2017 roku.



Fot. 7. W transporcie rozróżnia się się dwie kategorie odpadów. Luźne śmieci, które mogą być bezpiecznie obsługiwane przez pracowników w kontrolowanych warunkach bez żadnych osłon innych niż same pojemniki (na fotografii). Odpady te stanowią około 96% całkowitej ilości materiału przeznaczonego do ulokowania w WIPP. Pozostałe cztery procent to odpady obsługiwane zdalnie, przenoszone i transportowane w osłoniętych otowiem beczkach.

Wnioski







Składowisko odpadów promieniotwórczych powstających w wyniku prac eksperymentalnych nie pozwala na rutynę obsługującym je pracownikom. Praktycznie każda partia odpadów to nowe zagadnienie z punktu widzenia chemika radiacyjnego. Wyniki badań nad radiolizą zawierających wodór materiałów to istotna informacja dla fachowców w tej dziedzinie. Aby ocenić faktyczne zagrożenie związane z emisją produktów gazowych powstających w wyniku działania promieniowania jonizującego, należałoby znać dokładną zawartość radioizotopów w opakowaniu, temperaturę w pojemniku, masę i rodzaj składowanych związków chemicznych. Uniwersalne podanie wydajności chemo-radiacyjne pozwala na szacunkowe wyliczenia uwzględniające jeszcze czas i skalę przedsięwzięcia. Ogólnie można rekomendować stosowanie związków aromatycznych, których wydajność radiolizy jest o dwa rzędy mniejsza

w porównaniu np. z polietylenem. W tabeli 2 zestawiono jako przykład wydajności wodoru dla polipropylenu i wybranych związków aromatycznych.

Badania przeprowadzono również w temperaturze ciekłego azotu. Jak widać, w niskiej temperaturze ilość wydzielanego w wyniku radiolizy wodoru jest tylko o połowę mniejsza.

Przy okazji chciałbym uczulić w szczególności młodych badaczy napromieniowujących próbki w ciekłym azocie, że muszą się oni liczyć z radiolitycznym utlenieniem tlenu rozpuszczonego w azocie do ozonu. Jeżeli wylejemy napromieniowany ciekły azot do parownicy, to po jego odparowaniu na dnie zostaną bardzo ładne niebieskie kryształy ozonu, które szybko sublimują. Tak więc jeżeli w termosie zostawimy naszą napromieniowaną próbkę do odparowania azotu, to może się ona zapalić pod wpływem silnego utleniacza, jakim jest O_3 . Wykonałem zresztą taką próbę. Buteleczkę z polimerem zamkniętą septą i zabezpieczoną dodatkowo metalową klamerką zostawiłem po napromieniowaniu w termosie zawierającym resztki ciekłego azotu. W wyniku gwałtownej reakcji ozonu z gumową zatyczką i powstałym w wyniku radiolizy wodorem doszło do detonacji i rozerwania butelki. Wniosek: resztki napromieniowanego ciekłego azotu wylewać w dobrze wentylowanym miejscu bez kontaktu z palnymi materiałami [10].

Tabela 2. Wydajności wydzielania wodoru dla związków aromatycznych są 100 razy mniejsze niż dla poliolefin. Jak widać, radioliza związków organicznych zachodzi również w bardzo niskich temperaturach.

Rodzaj związku	G_{H_2} [mol/J]	
	25°C	-192°C
 polipropylen	0,401	0,222
 acenaften	0,006	0,004
 piren	0,007	0,003
 antracenen	0,006	0,001
 fluoranten	0,008	0,005
 naftalen	0,008	0,003

Podsumowanie

Przedstawione w artykule prace stanowiły przyczynek do szerszych analiz, prowadzonych w ramach tzw. safety case dla składowiska odpadów promieniotwórczych. Dotyczyły

one badania zjawiska powstawania wodoru w wyniku radiolizy materiałów organicznych zdeponowanych w składowisku, nie obejmowały natomiast innych zjawisk i aspektów, takich jak np. migracja wodoru do atmosfery przez mikropęknięcia w materiałach sztucznych barier czy oddziaływanie na te bariery innych produktów radiolizy, takich jak chlor, fluor, azot (np. w postaci wolnych rodników). Przeprowadzono również wstępne symulacje radiolizy wodoru w składowisku zalanym solanką. Problem ten wykracza jednak poza zakres artykułu. Prace te zresztą zostały wstrzymane w związku z oszczędnościami po wybuchu konfliktu w Iraku. Badania radiolizy różnych materiałów w składowisku odpadów promieniotwórczych to problematyka bardzo ciekawa i ważna, niewątpliwie zasługująca na prowadzenie dalszych analiz i bardziej całościowe opracowanie.

Notka o autorze

Dr inż. Wojciech Głuszewski – adiunkt w Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Chemik radiacyjny. Obecnie zajmuje się problematyką radiacyjnej modyfikacji tworzyw polimerowych. Specjalista w zakresie technologii radiacyjnych i dozymetrii promieniowania jonizującego. Interesuje się zagadnieniami wykorzystania technik jądrowych w identyfikacji i konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym. Członek Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego.

Literatura

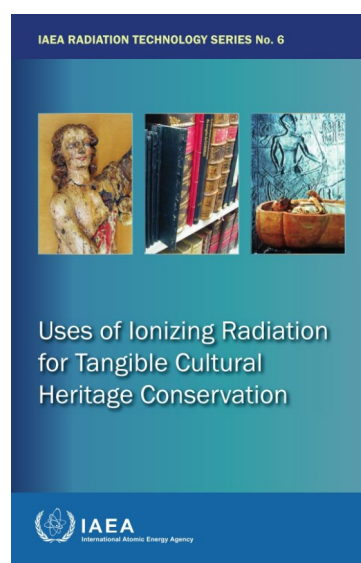
- Głuszewski W., Zagórski Z.P. (2008), *Radiation effects in polypropylene/polystyrene blends as the model of aromatic protection effects*, Nukleonika, 53, s. 21–24.
- Głuszewski W., *Radioliza papieru (2014)*, Postępy Techniki Jądrowej, 3, s. 23–25.
- Dziewiński J. (2000), *Experimental development of novel processes for nuclear waste treatment*, praca doktorska, 2000, pp. 140.
- Głuszewski W. (2017), *Chemia radiacyjna jako źródło unikatowych technologii syntezy i modyfikacji polimerów*, Postępy Techniki Jądrowej, 4, s. 21–25.
- Głuszewski W., Zagórski Z.P., Zimek Z., Rajkiewicz M. (2014), *Odporność radiacyjna tworzyw polimerowych*, Tworzywa sztuczne w przemyśle, 2, s. 50–51.
- Skłodowska-Curie M. (1954), *Collection of Reprints of All Papers*, PWN, Warszawa.
- Kosiewicz S.T. (1980), *Gas Generation from the Alpha Radiolysis of Bitumen*, Nucl. Chem. Waste Management, 1, s. 139–141.
- Zagórski Z.P. (2003), *Zastosowanie nanoindentacji w badaniach materiałów polimerowych*, Intern. J. Polymeric Materials, 52, s. 323–333.
- Zagórski Z.P. (1992), *Thermal and electrostatic aspects of radiation processing of polymers*, in Singh A., Silverman J. (Eds), *Radiation Processing of Polymers*. Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York, pp. 271–287.
- Głuszewski W. (2016), *Polimerowe kompozyty w ochronie radiologicznej*, Biuletyn Informacyjny PAA, 3, 105, s. 5–9.

Radiacyjna konserwacja obiektów zabytkowych

Wojciech Głuszewski

W przeddzień obchodzonej w zeszłym roku 150. rocznicy urodzin Marii Skłodowskiej-Curie Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) w Wiedniu wydała długo oczekiwaną monografię „Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation”. Początkowo publikacja dostępna była jedynie w wersji elektronicznej, obecnie można kupić również jej wydanie książkowe. Praca podsumowuje światowe doświadczenia w zakresie zastosowania technik radiacyjnych do konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym. Redaktorem zbiorowej monografii był zmarły dwa lata temu John Havermans. Publikacja po raz pierwszy została oficjalnie zaprezentowana 7 listopada na 5. Targach Konserwacji i Restauracji Zabytków oraz Ochrony, Wyposażenia Archiwów, Muzeów i Bibliotek – DZIEDZICTWO 2017. Promocja książki odbyła się w trakcie wykładu autora tego komunikatu zatytułowanego „MARIA SKŁODOWSKA-CURIE PREKURSORKĄ RADIACYJNYCH METOD KONSERWACJI OBIEKTÓW O ZNACZENIU HISTORYCZNYM”. Wydarzenie to zorganizował Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie przy wsparciu Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie oraz Stowarzyszenia Francja-Polska (AFP). Publikację zaprezentowano również na XVII konferencji „Chemia analityczna w ochronie zabytków”, która odbyła się w dniach 7-8 grudnia w Warszawie. Warto na marginesie odnotować, że trzy czwarte wygłoszonych tam komunikatów odwoływało się do analitycznych metod wykorzystujących promieniowanie jonizujące. Dwa rozdziały: CHAPTER 18. PRESERVATION OF LARGE COLLECTIONS OF ARTEFACTS (Konserwacja dużych zbiorów artefaktów – J. Perkowski, W. Głuszewski) oraz CHAPTER 20. DISINFECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS USING ELECTRON BEAM ACCELERATORS (Dezynfekcja obiektów o znaczeniu historycznym za pomocą wiązki elektronów – W. Głuszewski) to polski wkład do monografii. W książce można znaleźć rekomendację dla

technik radiacyjnych w konserwacji różnych rodzajów obiektów historycznych. Przytaczam zwięzły opis wpływu promieniowania jonizującego na różne materiały w postaci tabeli, odsyłając po szczegóły do angielskojęzycznej monografii dostępnej w internecie [1].



Przyjęto następujące kryteria i oznaczenia: **Zalecana (Z)** – dobrze przyjęta i oznacza, że aplikacja jest przeprowadzana często i z powodzeniem; **Badania (B)** – wciąż są prowadzone prace eksperymentalne; **Potencjał (P)** – oznacza, że aplikacja nadaje się do materiału, ale niektóre kwestie wymagają wyjaśnienia; **Niezalecana (N)** – oznacza, że aplikacja nie jest odpowiednia dla materiału; **Brak zainteresowania (BZ)** – oznacza, że chociaż można skutecznie zastosować metodę radiacyjną, to nie ma takiej potrzeby.

1. IAEA RADIATION TECHNOLOGY SERIES No. 6; “Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation”; International Atomic Energy Agency; Vienna International Centre; 245 stron; ISBN 978-92-0-103316-1; ISSN 2220-7341; cena 50 €

Obiekt	Rekomendacja
Obrazy sztalugowe (na płótnie), drewniane panele, kamień, metal	BZ
Papier, rysunki, manuskrypty, druki, książki	P
Pergamin, wyroby skórzane	P
Płótno, tkaniny, gobeliny	BZ
Wyroby z wikliny	N
Meble	Z
Przedmioty dekoracyjne (kompozyty)	P
Instrumenty muzyczne	P
Drewniane elementy konstrukcji (budynki, statki, łodzie itp.)	Z
Nasiąknięte wodą archeologiczne drewniane artefakty	Z
Drewniane (suche) posągi	Z
Drewniane (suche) posągi z polichromią lub złoceniami	P
Kości, rogi, kość słoniowa, szkielety, bursztyn	N
Porowate kamienne posągi	P
Kamień porowaty (lub cegła), elementy konstrukcji	P
Tynk, sztukaterie	P
Kolekcje etnograficzne	P
Historia naturalna	BZ
Mumie	BZ
Fotografie i filmy	P

Szanowni Czytelnicy

Zachęcamy do współtworzenia biuletynu
Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna.
Zapraszamy do przesyłania na adres biuletyn@paa.gov.pl
propozycji tematów artykułów, które chcieliby
Państwo opublikować w biuletynie.

Szczegółowe informacje dla autorów na stronach PAA.

Państwowa Agencja Atomistyki
ul. Krucza 36, 00-522 Warszawa
www.paa.gov.pl