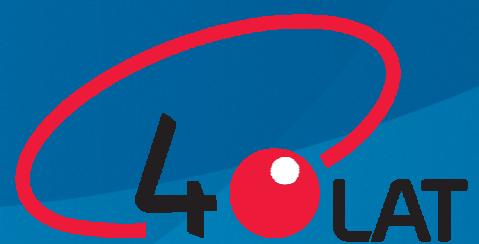


e-ISSN 2353-9062
ISSN 0867-4752

1 (123) 2022

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA



Państwowej Agencji
Atomistyki

1982-2022

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

- nauki o bezpieczeństwie,
- nauki fizyczne,
- nauki chemiczne,
- nauki prawne,
- nauki medyczne.

Wydawca: **Państwowa Agencja Atomistyki**
ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa

Redakcja: **Elżbieta ZALEWSKA**
Apolonia CICHOCKA
ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa
TEL. 22 628 94 39
FAX 22 621 37 86
E-MAIL biuletyn@paa.gov.pl
www. gov.pl/web/paa

Rada Programowa

prof. dr hab. **Janusz JANECZEK** – przewodniczący Rady
prof. dr hab. inż. **Andrzej CHMIELEWSKI** – członek Rady
prof. dr hab. n. med. **Marek K. JANIĄK** – członek Rady
prof. dr hab. n. med. **Eugeniusz DZIUK** – członek Rady
dr hab. **Agnieszka KORGUL** – członek Rady
dr **Tomasz NOWACKI** – członek Rady

Maciej JURKOWSKI, Redaktor naczelny

Marek WOŹNIAK, Redaktor techniczny

e-ISSN 2353-9062
ISSN 0867-4752

Druk: „PAKULSKI” Adam Pakulski

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA

BIULETYN INFORMACYJNY PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Nr 1 (123) 2022
Warszawa

Spis treści

Wspomnienie o dr. Stanisławie Kraszewskim	7
Zuzanna Podgórska Metody pomiaru radonu w powietrzu, glebie i wodzie.	9
Łukasz Koszuk Metody zapobiegania przenikaniu radonu do budynków i obniżania jego stężenia	15
Wojciech Głuszewski Efekty ochronne w radiolizie naturalnych i syntetycznych polimerów.	22
Alicja Krajenta-Kopeć Kompetencje w urzędzie dozoru jądrowego.	27
Luca Abele Piciaccia Competence Management and Integrated Management System at DSA, the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority.	37

Szanowni Państwo

24 lutego niepodległa i demokratyczna Ukraina została napadnięta zbrojnie przez armię Federacji Rosyjskiej. Brutalność tej niczym nie sprowokowanej agresji, a w szczególności ataki artyleryjskie i raketowe na cele cywilne wzbudziły duży społeczny niepokój m.in. o stan ukraińskich obiektów jądrowych, w szczególności tych, które znalazły się na terenach zajętych przez armię rosyjską tj. czynnej elektrowni jądrowej Zaporozże, oraz wyłączonej od dawna z eksploatacji elektrowni jądrowej w Czarnobylu, gdzie znajdują się jednak obiekty przechowywania wypalonego paliwa jądrowego i składowania odpadów promieniotwórczych. PAA od początku rosyjskiej agresji, dzięki informacjom uzyskiwanym na bieżąco od ukraińskiego dozoru jądrowego SNRIU*, oraz z międzynarodowego systemu wczesnego powiadamiania o zdarzeniach radiacyjnych USIE**, monitoruje bieżącą sytuację obiektów na Ukrainie, a także sytuację radiologiczną na terenie Polski na podstawie danych pomiarowych, przekazywanych *on-line* do Centrum Zdarzeń Radiacyjnych PAA (dyżurującego w systemie 24h/7dni), z sieci kilkudziesięciu automatycznych stacji monitoringu mocy dawki i skażeń powietrza, zainstalowanych w większości wzdłuż naszej wschodniej granicy (dane te są publicznie dostępne – zob. mapa na www.paa.gov.pl). Informowali o tym na konferencji prasowej 4 marca br. minister klimatu i środowiska Anna Moskwa i prezes PAA Łukasz Młynarkiewicz. W opinii ekspertów i na podstawie wykonanych w PAA symulacji i analiz różnych scenariuszy hipotetycznych awarii, które mogłyby wywołać ataki na obiekty w Czarnobylu czy Zaporozżu, obszar na którym mogłoby wystąpić zagrożenie wymagające interwencji nie przekraczałby promienia kilkudziesięciu kilometrów od tych obiektów, a więc nie sięgałby terytorium Polski. Dane pomiarowe z krajowego systemu monitoringu radiologicznego od lutego do chwili obecnej nie wykazały żadnych wzrostów mocy dawki, czy skażeń powietrza powyżej normalnego poziomu.



Na przełomie lutego i marca 2022 minęło 40 lat od utworzenia Państwowej Agencji Atomistyki (ustawa powołująca PAA z 27 lutego 1982 roku weszła w życie 9 marca 1982 roku). Nawiązaniem do tej rocznicy w bieżącym numerze, poza umieszczonym na okładce logo 40-lecia PAA, jest wspomnienie o dr. Stanisławie Kraszewskim, który był współtwórcą prawa atomowego, tworzącego ramy prawne działania PAA jako urzędu państwowego dozoru jądrowego. Informacje o dalszej historii PAA i o tym jak doszło do funkcjonowania dozoru jądrowego w obecnym jego kształcie znajdzie czytelnik w wywiadzie i artykułach opublikowanych w poprzednim numerze naszego biuletynu.

W pierwszych dwóch artykułach bieżącego numeru powracamy do tematyki zagrożeń od radonu. **Joanna Podgórska** opisuje narzędzia i metody pomiaru radonu w powietrzu, glebie i wodzie stosowane w celu określenia wielkości narażenia od radonu i krótkożyciowych produktów jego rozpadu. Szacuje się, że w Polsce ponad 30% średniej rocznej dawki skutecznej, pochodzącej ze źródeł naturalnych, pochodzi właśnie od radonu 222 i jego promieniotwórczych pochodnych, stanowią one zatem istotny czynnik narażenia ogółu ludności. Ponadto, po zmianie ustawy Prawo atomowe w czerwcu 2019 r., monitorowanie narażenia na radon w miejscach pracy, gdzie średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu wewnątrz pomieszczeń może przekroczyć poziom odniesienia 300 Bq/m³ i informowanie pracowników o wynikach tych pomiarów oraz uwzględnianie narażenia od radonu w rocznej dawce skutecznej pracowników stało się obowiązkiem pracodawcy. Stąd rosnące zainteresowanie tą problematyką, tym bardziej, że ustawowy obowiązek monitorowania dotyczy także budynków, lokali i pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi, w pierwszym rzędzie takich jak szkoły i szpitale.

W drugim z artykułów dotyczących radonu **Łukasz Koszuk** opisuje źródła pochodzenia radonu i mechanizm jego gromadzenia się oraz środki ograniczania jego stężenia wewnątrz pomieszczeń, a także metody i narzędzia zapobiegania przenikaniu radonu do nowych budynków.

W kolejnym artykule, którego tematyka dotyczy technik radiacyjnych przy produkcji tworzyw sztucznych, **Wojciech Głuszewski** omawia wyniki własnych badań nad tzw. efektem ochronnym uzyskiwanym przez domieszkowanie tworzyw związkami aromatycznymi, chronionych w ten sposób przed rozkładem radiolitycznym i jego skutkami. Autor ciekawie opisuje metody prowadzenia badań nad radiolizą polipropylenu i formułuje interesujące wnioski dotyczące badanych zjawisk i mechanizmów prowadzących do uzyskania efektu ochronnego.

Ostatnie dwa artykuły poświęcone są omówieniu typowych funkcji dozoru jądrowego i organizacji realizującego je urzędu pod kątem zapewnienia kompetencji pracowniczych, niezbędnych do efektywnego wykonywania tych funkcji. **Alicja Krajenta Kopeć** relacjonuje przeprowadzony w latach 2015–2017 proces badania luk kompetencyjnych pracowników PAA, z zastoso-

* State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine – SNRIU.

** Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies – USIE

waniem promowanej przez MAEA* metodologii SARCoN, jego wyniki oraz wskazuje na możliwe korzyści z wdrożenia tej metodologii w PAA. Cel i rezultaty zastosowania tej samej metodologii w norweskim urzędzie dozoru jądrowego DSA opisał w ostatnim z zamieszczonych artykułów **Luca A. Piciaccia**. Artykuł ten, opublikowany po raz pierwszy w naszym biuletynie w języku angielskim, stwarza czytelnikom okazję do przyjrzenia się, jak w porównaniu z PAA do podobnych problemów podchodzą urzędy dozoru jądrowego w innych krajach – w tym przypadku – norweski DSA**.

Życzymy Państwu owocnej lektury.

Bądźmy solidarni z napadniętą i walczącą o swoją wolność i nasze bezpieczeństwo Ukrainą!

Redaktor Naczelny
Maciej Jurkowski

* Międzynarodową Agencję Energii Atomowej – MAEA.

** Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (norwegian: *Direktoratet for Strålevern og Atomsikkerhet* – DSA).

Wspomnienie o dr. Stanisławie Kraszewskim

5 lutego 2022 roku zmarł w Toruniu w wieku 68 lat doktor nauk prawnych Stanisław Kraszewski, współtwórca ram prawnych dla wykorzystania w Polsce energii atomowej oraz dla funkcjonowania państwowego dozoru bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej, którymi były pierwsza polska ustawa Prawo atomowe, przyjęta przez Sejm 10 kwietnia 1986 roku, oraz akty wykonawcze do tej ustawy. Długoletni wykładowca prawa administracyjnego na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika i innych szkołach wyższych, radca prawny, adwokat.

Urodzony 16 maja 1954 roku w Rypinie, po ukończeniu w 1972 roku Liceum Ogólnokształcącego im. M. Kopernika w Toruniu, podjął tam studia na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Studia ukończył w roku 1976, broniąc pracy magisterskiej zatytułowanej „Sądowa kontrola aktów administracyjnych”. Pracę tę wyróżnił dwutygodnik „Rada Narodowa-Gospodarka-Administracja” w roku 1977. Po studiach, od września 1976 roku podjął zatrudnienie w Zakładzie Prawa Administracyjnego ówczesnego Instytutu Administracji i Zarządzania UMK (przekształconego następnie w Katedrę Prawa Administracyjnego) jako pracownik naukowo-dydaktyczny, zajmując w latach 1976–2002 stanowiska od asystenta stażysty do adiunkta.

W pracy badawczej koncentrował się na zagadnieniach zakładów administracyjnych oraz ochrony prawnej ich użytkowników, samorządu terytorialnego i planowania przestrzennego, ochrony środowiska (w szczególności w zakresie zapobiegania nadzwyczajnym zagrożeniom środowiska oraz prawa wodnego), prawa szkolnictwa wyższego, postępowania administracyjnego oraz zagadnieniach z zakresu źródeł prawa administracyjnego, wreszcie – prawa atomowego. Rezultaty prac badawczych zostały wykorzystane w licznych publikacjach i sprawozdaniach z ich wykonania, a także procesach legislacyjnych.

W roku 1986, po obronie rok wcześniej rozprawy doktorskiej, zatytułowanej „Ochrona prawna użytkowników zakładów administracyjnych”, związał się na kilka lat z Państwową Agencją Atomistyki, gdzie odbył staż zawodowy, a następnie w okresie od 1986 do 1991 roku na podstawie zlecenia wykonywał obowiązki legislatora, przygotowując różnej rangi normatywne akty wykonawcze do ustawy Prawo atomowe, zawierające przepisy powszechnie obowiązujące, jak i o charakterze wewnętrznym – ściśle współpracując z pracownikami Głównego Inspektoratu Dozoru Jądowego PAA oraz Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Dr Stanisław Kraszewski uczestniczył także w pracach badawczo-wdrożeniowych związanych z bezpieczeństwem jądowym i ochroną radiologiczną, dotyczących między innymi zapobiegania nadzwyczajnym zagrożeniom i związanej z nimi odpowiedzialności cywilnej, zagadnień organizacji dozoru jądowego, współpracy międzynarodowej w zakresie bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej. Warto wspomnieć, że był obok dra Mikołaja Święckiego współautorem artykułu „Wykorzystanie energii atomowej jako przedmiot regulacji prawnej” opublikowanego w pierwszym numerze naszego Biuletynu, wydanym w 1989 roku.

W roku 1989 został wpisany na listę radców prawnych, a w 2008 roku – adwokatów. W latach 1991–2016 wykonywał te zawody w ramach prowadzonej kancelarii „Konsultant”.

Jako nauczyciel akademicki, a od 1995 do 2002 roku jako pracownik dydaktyczny na stanowisku starszego wykładowcy UMK, dr Kraszewski prowadził ćwiczenia i wykłady z prawa administracyjnego, postępowania administracyjnego i postępowania przed sądem administracyjnym, prawa ustroju administracji publicznej, prawa administracyjnego międzynarodowego, prawa mieszkaniowego, prawa samorządu terytorialnego, prawa ochrony środowiska, kontroli administracji, organizacji pracy w administracji oraz seminaria dyplomowe dla studentów administracyjnych studiów zawodowych i magisterskich. Po zakończeniu w roku 2002 pracy na Wydziale Prawa i Administracji UMK w Toruniu nadal pracował jako wykładowca w niepublicznych szkołach wyższych, wykładając prawo administracyjne i postępowanie administracyjne, m.in. w Powszechnej Wyższej Szkole



Dr Stanisław Kraszewski
16.05.1954–5.02.2022

Humanistycznej „POMERANIA” w Chojnicach w latach 2006–2009 oraz Kolegium Jagiellońskim – Toruńskiej Szkole Wyższej w Toruniu w latach 2004–2016.

Był człowiekiem życzliwym i uczynnym, szanującym i wspierającym rozwój swoich kolegów. Nie bał się podejmowania nowych wyzwań, naukowych czy zawodowych, ani wyrażania swoich poglądów. Cenił poczucie humoru, szczerść i rzetelność oraz solidność. Był dobrym człowiekiem.

W naszej pamięci pozostanie przede wszystkim jako współuczestnik, obok dra Mikołaja Świąckiego, zapoczątkowania w 1986 roku pionierskiego dzieła tworzenia polskiego Prawa atomowego – ustawy i aktów wykonawczych, stanowiących ramy prawne dla wykorzystania energii atomowej w Polsce i funkcjonowania PAA jako urzędu dozoru jądrowego. Cześć Jego pamięci.
Requiescat in pace!

*Kierownictwo i Pracownicy Państwowej Agencji Atomistyki,
Redakcja Biuletynu bjiór PAA¹*

¹ Redakcja Biuletynu dziękuje synowi Zmarłego oraz panu dr. Mikołajowi Świąckiemu za udostępnienie danych o Zmarłym, które były niezbędne do opracowania niniejszego wspomnienia.

Metody pomiaru radonu w powietrzu, glebie i wodzie

Methods of radon measurement in air, soil and water

Zuzanna Podgórska

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej, Fundacja Forum Atomowe

Streszczenie: Radon to alfa-promieniotwórczy gaz szlachetny występujący naturalnie. Do pomiarów ilości tego gazu w powietrzu, glebie i wodzie wykorzystuje się różnego rodzaju metody i mierniki. W artykule zostały scharakteryzowane poszczególne typy detektorów stosowanych powszechnie w dozymetrii radonu. Opisano zarówno zalety i ograniczenia tych metod, jak i możliwości ich zastosowania w różnych warunkach.

Słowa kluczowe: Radon, pomiar radonu, metody pomiaru radonu.

Abstract: Radon is a naturally occurring alpha-radioactive noble gas. Various methods and monitors are used to measure the amount of this gas in the atmosphere, soil gas and water samples. The article describes individual types of detectors commonly used in radon dosimetry. The advantages and disadvantages of selected methods and the possibility of using them in various conditions were described.

Keywords: Radon, radon measurements, methods of radon measurements.

1. Wprowadzenie

Radon to promieniotwórczy gaz szlachetny występujący w środowisku naturalnym w powietrzu, glebie i wodzie. Powstaje w wyniku alfa-promieniotwórczej przemiany radu obecnego w podłożu gruntowym. Jest bezbarwny, nie ma smaku ani zapachu. Stosunkowo łatwo rozpuszcza się w wodzie, stąd też jego obecność m.in. w wodach gruntowych czy w wodzie pitnej z ujęć głębinowych.

Znanych jest ponad 30 izotopów radonu o czasach półrozpadu od ułamków mikrosekund do kilku dni w przypadku radonu ^{222}Rn . Izotop radonu ^{222}Rn jest najtrwalszym ze znanych izotopów tego pierwiastka i jednocześnie jednym z czterech, które występują naturalnie. Naturalnie występujące izotopy radonu, o nazwach zwyczajowych aktynon, toron i radon, są składowymi trzech naturalnych szeregów promieniotwórczych – aktynowego, torowego i uranowo-radowego.

Nazwa „radon” najczęściej stosowana jest w odniesieniu do najtrwalszego naturalnie występującego izotopu radonu 222 . Jest on najbardziej istotny z punktu widzenia dozymetrii i ochrony radiologicznej. Czas półrozpadu tego izotopu jest wystarczająco długi, aby gazowy radon wydo-

stał się z ziaren w podłożu, w których powstaje i przedostał do atmosfery, a potem częściowo do układu oddechowego. Jednocześnie czas ten jest na tyle krótki, że stosunkowo duża część atomów radonu rozpada się wewnątrz organizmu, jeśli dostanie się do niego z wdychanym powietrzem. Radon rozpada się z emisją promieniowania alfa. Powstają z niego kolejne izotopy promieniotwórcze takich pierwiastków, jak polon, ołów i bismut, które, co ważne, w odróżnieniu od radonu nie są gazami, lecz metalami. W związku z tym deponują się w różnych odcinkach układu oddechowego i w wyniku kolejnych przemian promieniotwórczych oddziałują na organizm od wewnątrz. Warto podkreślić, że dawka od krótkożytych pochodnych radonu jest często dwa rzędy wielkości większa niż dawka od radonu Rn-222.

Narażenie na promieniowanie pochodzące od radonu oznacza zatem dokładniej narażenie na promieniowanie od radonu i jego krótkożytych produktów rozpadu.

Chociaż radon jest pierwiastkiem naturalnym i powstającym samorzutnie niezależnie od działalności człowieka, to ocena dawki efektywnej od radonu i jego pochodnych jest niezwykle istotna, ponieważ ponad 30% średniej rocznej dawki efektywnej pochodzącej ze źródeł naturalnych

w Polsce pochodzi od radonu i jego promieniotwórczych pochodnych, tzw. krótkożyciowych produktów rozpadu radonu (dane z 2020 roku) [1].

Dotychczas dawka ta nie była wliczana do dawki efektywnej dla pracowników. Wyjątek stanowili górnicy. Zagrożenie radiacyjne tej grupy (zarówno w górnictwie węglowym, jak i przy wydobywaniu innych surowców naturalnych) wynika z podwyższonego poziomu promieniowania jonizującego związanego z promieniotwórczością naturalną. Jest to promieniowanie gamma emitowane przez naturalne izotopy promieniotwórcze (głównie rad), zawarte w skałach górotworu oraz radon i jego produkty rozpadu w powietrzu kopalnianym [2].

Po zmianie ustawy Prawo atomowe (ustawa z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej, Dz.U. poz. 1593) monitorowanie narażenia na radon w miejscach pracy w części powiatów w Polsce jest obowiązkiem pracodawcy [3]. Zmiany w polskich przepisach wynikały między innymi z dostosowania ich do regulacji Unii Europejskiej i implementacji dyrektywy Rady 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego [4].

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) radon, obok palenia papierosów, jest jednym z głównych czynników odpowiedzialnych za powstawanie raka płuc u ludzi [5].

Do określenia dawki od radonu potrzebna jest jego ocena ilościowa: stężenie aktywności w powietrzu lub w wodzie. Stosuje się różne metody pomiarowe, działające na podstawie pośredniego pomiaru efektów wywołanych przez oddziaływanie emitowanego promieniowania jonizującego. Pomiaru dozymetryczne mogą też obejmować inne wielkości, jak ekspozycja czy energia potencjalna produktów rozpadu radonu (ang. *Potential Alpha Energy Concentration*, PAEC).

2. Metody pomiaru radonu w powietrzu

Metody pomiaru stężeń aktywności radonu i jego pochodnych w powietrzu oparte są na rejestrowaniu efektów wywołanych oddziaływaniem emitowanego przez nie promieniowania alfa, beta i gamma [6].

Najbardziej powszechne metody to:

- monitory z komorą jonizacyjną,
- detektory z węglem aktywowanym,
- detektory śladowe typu CR-39 cząstek alfa w komorach dyfuzyjnych,
- detektory scyntylacyjne z siarczkiem cynku aktywowanym srebrem ZnS(Ag),
- detektory elektretowe.

Powyższe metody pomiarowe różnią się zasadą działania, czasem trwania pomiaru, zakresem pomiarowym i mierzoną wielkością fizyczną. W zależności od tego, czy użytkownik chce uzyskać wartość średnią z określonego czasu ekspozycji, czy też zaobserwować dynamiczne zmiany stężenia aktywności radonu w czasie – należy zastosować określoną metodę pomiaru.

Aktywne mierniki to urządzenia, które rejestrują wartość stężenia radonu w czasie rzeczywistym. Najczęściej wyposażone są w komorę jonizacyjną lub inny rodzaj układu pomiarowego, który pozwala na odczyt wartości z urządzenia niemal na bieżąco.

Powietrze zawierające radon może się dostawać do układu pomiarowego na drodze dyfuzji lub być pobierane przez pompę stanowiącą element układu pomiarowego. Za pomocą aktywnych mierników można zaobserwować wahania stężenia aktywności radonu np. w ciągu doby. Mierniki aktywne są zazwyczaj wykorzystywane przez specjalistów w laboratoriach badawczych, choć dostępne są też rozwiązania niskobudżetowe charakteryzujące się mniejszą dokładnością, ale pozwalające na monitorowanie zmieniających się wartości stężenia aktywności radonu. Aktywne mierniki są również stosowane w komorach kalibracyjnych służących do wzorcowania przyrządów radonowych bądź ekspozycji detektorów w znanych i kontrolowanych warunkach stężenia aktywności radonu.

Inną grupą metod pomiarowych są metody pasywne. Główną cechą detektorów pasywnych jest uśrednianie wyniku z czasu ekspozycji. W zależności od rodzaju detektora ekspozycja może trwać od 24 godzin do nawet 12 miesięcy. Zaletą tego typu detektorów jest ich stosunkowo niewielki koszt oraz łatwość obsługi – detektory nie wymagają specjalistycznej wiedzy czy doświadczenia dozymetrycznego na etapie samego ekspozowania ich np. w budynku mieszkalnym czy miejscu pracy. Po ekspozycji są odsyłane do laboratorium do analizy.



Rys. 1. Aktywny monitor radonu [7].

Fig. 1. Active radon monitor [7].

2.1. Detektory z węglem aktywowanym typu PicoRad

Detektory stosowane w krótkich ekspozycjach to pojemniki wypełnione węglem aktywnym wymieszanym z silikazem pełniącym funkcję pochłaniacza wilgoci. Radon jest bardzo efektywnie adsorbowany w węglu aktywnym. Po czasie ekspozycji, w laboratorium część przestrzeni obudowy wypełnia się ciekłym scyntylatorem, najczęściej na bazie ksylenu, który powoduje desorpcję radonu z węgla do objętości scyntylatora. Następnie tak przygotowany detektor, po ok. 3 godzinach koniecznych do uzyskania stanu równowagi promieniotwórczej, jest analizowany w laboratorium w liczniku scyntylacyjnym. Wewnątrz pojemnika pojawiają błyski (tzw. scyntylacje) wywołane przez promieniowanie pochodzące z rozpadu radonu, które następnie zamieniane są na impulsy elektryczne, odpowiednio wzmacniane i zliczane. Liczba zarejestrowanych błysków na podstawie wcześniej przeprowadzonej kalibracji układu przeliczana jest na ekspozycję lub średnie stężenie aktywności radonu w czasie ekspozycji.

Nawet jeśli w badanym powietrzu występuje także inny izotop radonu – toron, uzyskuje się w wyniku pomiaru informację wyłącznie o stężeniu izotopu radonu ^{222}Rn , ponieważ toron rozpadnie się, zanim zostanie wykonana analiza laboratoryjna ze względu na bardzo krótki czas półrozpadu.

Wadą tej metody jest ograniczony maksymalny czas ekspozycji wynoszący 96 godzin oraz brak możliwości wykonania miarodajnych pomiarów w warunkach dużej wilgotności powietrza. Istotny jest też wpływ temperatury na możliwości adsorpcyjne węgla – im wyższa temperatura, tym mniej efektywnie radon jest pochłaniany. Dodatkowo należy mieć pewność, że detektory zostaną dostarczone do laboratorium do analizy niezwłocznie po ekspozycji ze względu na krótki czas półrozpadu radonu i jego krótkożytych pochodnych. Detektory z węglem aktywowanym są przeznaczone do jednorazowego odczytu.

2.2. Detektory śladowe typu CR-39

Detektory śladowe (ang. *Solid-state nuclear track detectors*, SSNTD) są stosowane do pomiarów średniego stężenia aktywności radonu w dłuższym czasie. Ekspozycja może trwać nawet do 12 miesięcy. Płytkę polimerową o specjalnych właściwościach umieszczona jest w plastikowym pojemniku o określonej geometrii, nazywanym komorą dyfuzyjną. Do wnętrza pojemnika na drodze dyfuzji dostaje się powietrze zawierające radon.

Sam detektor ma postać przezroczystej płytki wykonanej z poliwęglanu allilodiglikolowego (ang. *Poly-Allyl-Diglycol Carbonate*, PADC). Materiał ten był od 1947 r. w USA stosowany do produkcji soczewek w okularach optycznych, a wcześniej w czasie II wojny światowej do wzmacniania konstrukcji bombowców (nazwa CR-39 pochodzi od nazwy programu „Columbia Resin #39”). Na



Rys. 2. Detektor śladowy CR-39 [7].

Fig. 2. CR-39 radon detector [7].

początku lat 60. XX w. zaobserwowano, że polimer ma taką właściwość, iż silnie jonizujące cząstki, np. cząstki alfa, przenikając przez powierzchnię płytki, uszkadzają na swojej drodze wiązania chemiczne, tworząc mikroskopijne otwory [5]. Detektory śladowe CR-39 nie są czułe na promieniowanie beta i gamma oraz na warunki środowiskowe, jak np. wilgotność czy temperatura.

Powstałe w wyniku oddziaływania cząstek alfa uszkodzenia nie są widoczne aż do momentu ich obróbki termochemicznej w laboratorium. Proces ten polega na poddaniu detektorów działaniu stężonej zasady sodowej w podwyższonej temperaturze (sięgającej kilkudziesięciu, a czasem nawet powyżej 90°C), w wyniku czego uszkodzenia powierzchni powiększają się i stają się widoczne pod mikroskopem. Ślady na powierzchni płytki należy poddać



Rys. 3. Automatyczna analiza detektorów śladowych CR-39 pod mikroskopem [7].

Fig. 3. Automatic microscopic analysis of CR-39 detectors [7].

analizie, ponieważ oprócz cząstek alfa rejestrowane są również ślady innych naładowanych cząstek, np. protonów. Ślady te jednak łatwo rozróżnić, ponieważ różnią się rozmiarem.

Następnie zliczana jest liczba śladów na określonej powierzchni. Zliczanie może się odbywać ręcznie, półautomatycznie lub automatycznie. Do automatycznej analizy powierzchni detektorów używa się układu pomiarowego składającego się z ruchomego stolika pozwalającego na umieszczenie w jednym obszarze roboczym do kilkudziesięciu detektorów oraz mikroskopu z kamerą i oprogramowania do analizy. Na podstawie zdefiniowanych parametrów kształtu i rozmiaru śladów identyfikowane są te, które pochodzą od radonu. Następnie są one zliczane i na podstawie przeprowadzonej wcześniej kalibracji – szacuje się odpowiadającą danej liczbie śladów wartość ekspozycji lub średnią wartość stężenia aktywności radonu w czasie ekspozycji.

Po wytrawieniu detektory mogą być wielokrotnie odczytywane pod mikroskopem, ale nie mogą być ponownie użyte do pomiaru w innym miejscu. Same komory dyfuzyjne mogą być wielokrotnego użytku, chociaż oferowane są też rozwiązania, w których zalecane jest jednorazowe stosowanie komór dyfuzyjnych.

Zaletą metody pomiaru z użyciem detektorów śladowych jest ich niski koszt i łatwa obsługa oraz odporność na niekorzystne warunki środowiskowe (wysoka temperatura czy wilgotność powietrza), a także możliwość prowadzenia długoterminowych pomiarów. Należy jednak podkreślić, że dostarczają one informacji o uśrednionej wartości w czasie.

2.3. Scyntylicyjne komory Lucasa

Jedną z najstarszych metod pomiaru stężenia radonu w powietrzu jest system komór scyntylicyjnych. Komora Lucasa jest to naczynie o kształcie walca, którego wewnętrzne ściany pokryte są scyntylatorem: siarczkiem cynku aktywowanym srebrem $ZnS(Ag)$, a dno jest przezroczyste, aby umożliwić rejestrowanie scyntytacji wywołanych przez cząstki alfa, padające na ścianki pokryte scyntylatorem. Pomiar polega na zassaniu badanego powietrza do wnętrza komór, a następnie poddaniu go analizie po ustaleniu się równowagi promieniotwórczej. Błyski te są następnie przetwarzane przez fotopowielacz radiometru na impulsy. Liczba scyntytacji jest proporcjonalna do stężenia aktywności radonu w próbce.

Należy pamiętać, że pochodne radonu osadzają się trwale na ściankach komory Lucasa, dlatego należy odczekać co najmniej 3 godziny przed ponownym wykorzystaniem danej komory, czyli do momentu rozpadnięcia się krótkożyciowych pochodnych osadzonych na ściankach. Długożyciowe pochodne radonu pozostają we wnętrzu komory, zwiększając tło pomiarowe układu i w toku użytkowania podwyższając dolny próg detekcji.

2.4. Jonizacyjne komory elektretowe (elektrety)

Elektret to teflonowy (politetrafluoretylen) dysk o trwałym dodatnim potencjale. Zamknięty jest w komorze dyfuzyjnej wyposażonej w filtr odcinający promieniotwórcze aerozole z powietrza. W wyniku jonizacji powietrza wewnątrz obudowy obserwuje się spadek powierzchniowego potencjału na dysku proporcjonalny do stopnia jonizacji, a więc do wartości ekspozycji.

Wartość spadku potencjału szacuje się, wykonując pomiar potencjału przed ekspozycją i po ekspozycji i obliczając różnicę otrzymanych wartości.

3. Metody pomiaru stężenia radonu w powietrzu glebowym

Pomiar stężenia aktywności radonu w powietrzu glebowym zazwyczaj wykonuje się przez umieszczenie sondy na odpowiedniej głębokości w glebie, podłączenie urządzenia pomiarowego z użyciem pompy zasysającej powietrze i zmierzenie pobranej próby powietrza.

Istotna różnica pomiędzy pomiarami powietrza atmosferycznego i powietrza glebowego polega po pierwsze na tym, że powietrze glebowe zawiera znaczące ilości radonu ^{220}Rn , czyli toronu. Aby oddzielić wyniki pochodzące od izotopów radonu i toronu, należy zastosować w układzie pomiarowym metodę spektrometryczną bazującą na pomiarze pochodnych i rozróżnianiu ich na podstawie informacji o energii poszczególnych składowych. Inną metodą eliminowania składowej pochodzącej od ^{220}Rn jest włączenie do układu długiego szczelnego przewodu na drodze do urządzenia, dzięki czemu toron rozpadnie się jeszcze przed dotarciem do miernika, choć nie można twierdzić, że pozwala to na całkowitą eliminację składowej pochodzącej od toronu. Kolejna istotna różnica to wielkości rejestrowane w powietrzu glebowym, które są nawet o 3 rzędy wielkości większe niż w powietrzu atmosferycznym. Dlatego też zaleca się stosowanie miernika przeznaczonego do pomiarów w glebie, zamiast używania jednego przyrządu



Rys. 4. Aktywny miernik stężenia radonu w powietrzu glebowym [7].
Fig. 4. Radon monitor for soil gas radon measurements [7].

do gleby i powietrza, ponieważ komora jonizacyjna przy tak wysokich wartościach bardzo szybko ulega skażeniu promieniotwórczemu, przez co wzrasta tło pomiarowe. Uniemożliwia to późniejsze prowadzenie dokładnych pomiarów w warunkach niskiego stężenia aktywności radonu z wykorzystaniem danego miernika.

Dodatkowo przyrząd powinien umożliwiać uwzględnienie udziału pochodnych z poprzedniego pomiaru, aby zapewnić dokładne i miarodajne pomiary w kolejnych punktach pomiarowych bez konieczności czekania na ich rozpad w urządzeniu.

Alternatywą dla rozwiązań aktywnych są też detektory śladowe instalowane w specjalnych rurach z PCV umieszczonych w otworach w ziemi na określonych głębokościach sięgających 80 cm. Tak umieszczone detektory mogą być eksponowane przez kilka dni, a następnie analizowane w laboratorium, dając wynik uśredniony z czasu ekspozycji.



Rys. 5. Schemat pomiaru radonu w powietrzu glebowym z użyciem detektorów pasywnych [7].

Fig. 5. Soil gas radon measurement with the CR-39 detectors [7].

4. Metody pomiaru stężenia aktywności radonu w wodzie

Do pomiarów stężenia aktywności radonu w próbkach wody stosuje się najczęściej dwie metody. Pierwsza to pomiar pośredni polegający na pomiarze stężenia aktywności radonu w powietrzu odgazowanym z próbki. Taki pomiar może być prowadzony za pomocą podłączonego w układzie zamkniętym typowego miernika radonu z pompą. Zgodnie z procedurą przez próbkę przepuszcza się powietrze w układzie zamkniętym, co prowadzi do uwolnienia się radonu z wody do powietrza w układzie. Następnie po wyłączeniu pompki uruchamiany jest pomiar. Aby uzyskać wynik pomiaru stężenia radonu w wodzie, należy uwzględnić dodatkowo m.in. objętość próbki, objętość układu pomiarowego oraz temperaturę próbki wody,

a także czas, jaki minął od momentu poprania próbki do momentu wykonania pomiaru.

Druga metoda wykorzystuje licznik ciekłoscyntylacyjny. Próbkę wody w specjalnej fiolce miesza się z ciekłym scyntylatorem, a po 3 godzinach i ustaleniu stanu równowagi promieniotwórczej między radonem i jego pochodnymi wykonuje się pomiar scyntylacji. Następnie są one przetworzone przez fotopowielacz na impulsy elektryczne. Liczba zliczonych impulsów jest proporcjonalna do zawartości i aktywności radonu w próbce wody.

5. Metody pomiaru radonu w świetle polskich przepisów

Warto podkreślić, że zgodnie z aktualnie obowiązującymi w Polsce przepisami pomiary długoterminowe wymagane przez Prawo atomowe np. w miejscach pracy muszą trwać co najmniej miesiąc, co w zasadzie wyklucza możliwość zastosowania aktywnych metod pomiarowych. Rekomendowaną metodą jest przeprowadzenie pomiarów przez laboratorium pomiarowe z zastosowaniem detektorów śladowych CR-39.

Laboratorium wykonujące pomiary musi posiadać akredytację lub przejść pozytywnie weryfikację w trakcie pomiarów porównawczych organizowanych cyklicznie przez Główny Inspektorat Sanitarny. Po okresie przejściowym pomiary takie będą musiały być wykonywane jedynie przez laboratoria posiadające akredytację.

6. Podsumowanie

Wybór odpowiedniej metody pomiaru radonu spośród całej gamy dostępnych rozwiązań powinien być uzależniony od celu badania i od warunków, w jakich prowadzony jest pomiar. Należy wziąć pod uwagę ograniczenia każdej z metod, jak np. maksymalny czas trwania ekspozycji czy wpływ warunków środowiskowych na wynik pomiaru. Planując pomiary, należy ustalić, czy istotne jest zarejestrowanie zmian wartości mierzonych w czasie, czy też istotna jest całkowita wartość ekspozycji. Nie bez znaczenia są też czynniki ekonomiczne oraz dostępność zaplecza laboratoryjnego do analizy detektorów, zwłaszcza przy prowadzeniu pomiarów na dużą skalę, w wielu punktach pomiarowych jednocześnie.

Notka o autorze

Mgr inż. Zuzanna Podgórska – doktorantka w Zakładzie Fizyki Jądrowej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, Inspektor Ochrony Radiologicznej IOR-3, członek European Radon Association, Fundacji Forum Atomowe i Fundacji Nuclear.pl, członek zarządu Stowarzyszenia Rzeczniczy Nauki. Ekspert ds. radonu i regional sales manager w laboratorium Radonova. Popularyzatorka, finalistka konkursu Popularyzator Nauki 2021.

Literatura

1. Raport roczny Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki za 2020, <http://www.paa.gov.pl>
2. Raport roczny Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki za 2017, <http://www.paa.gov.pl>
3. Ustawa z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej, Dz.U. poz. 1593.
4. *Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom*, OJ L 13, 17.1.2014, p. 1–73 <http://www.paa.gov.pl/>
5. World Health Organization, WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, 2009.
6. Mamont-Cieśla K., Radon – promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka, <http://www.clor.waw.pl>, www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/MTJ-W-wa/Radon-1a.pdf
7. Radonova Laboratories, <http://www.radonova.pl>

Metody zapobiegania przenikaniu radonu do budynków i obniżania jego stężenia

Methods of preventing the penetration of radon into buildings and reducing its concentration

Łukasz Koszuk
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Streszczenie: Radon jest gazem promieniotwórczym, który pochodzi z naturalnego rozpadu promieniotwórczego uranu, występującego prawie we wszystkich glebach. Zwykle dyfunduje w górę przez ziemię do powietrza atmosferycznego i do budynków przez pęknięcia i szczeliny w fundamentach, przepusty dla kabli, kanalizację, studzienki czy kominy. Źródłem radonu w mieszkaniach są także materiały budowlane i woda pitna. Szacuje się, że radon powoduje od 3 do 14% wszystkich nowotworów płuc w Polsce, w zależności od średniego krajowego poziomu tego gazu i rozpowszechnienia palenia papierosów. Dlatego tak istotny jest monitoring radonu, a w konsekwencji wysokich jego stężeń zastosowanie adekwatnych metod zapobiegających przenikaniu tego promieniotwórczego gazu do budynku.

W artykule szczegółowo omówiono drogi wnikania radonu do budynków oraz metody prowadzące do zmniejszania jego stężenia w pomieszczeniach m.in. poprzez stosowanie barier przeciw radonowi (uszczelnianie i obróbka podłoża, uszczelnienie podłoża poprzez zabetonowanie, uszczelnienie szczelin i pęknięć żywicą), obróbkę fundamentów budynku (wyrównanie ciśnienia czy wentylacja piwnicy) czy usuwanie powietrza zanieczyszczonego radonem przez zastosowanie różnych technik wentylacji.

Słowa kluczowe: Radon, budynki, drogi wnikania radonu, metody zmniejszania stężenia radonu.

Abstract: Radon is a radioactive gas that comes from the natural radioactive decay of uranium, which is present in almost all soils. It usually diffuses upward through the ground into the atmospheric air and into buildings through cracks and crevices in foundations, cable entries, sewers, manholes, and chimneys. Building materials and drinking water are also sources of radon in homes. Radon is estimated to cause 3% to 14% of all lung cancers in Poland, depending on the national average radon level and the prevalence of smoking. That is why it is so important to monitor radon and, as a consequence of its high concentrations, to use adequate methods to prevent the penetration of this radioactive gas into the building.

The article discusses in detail the ways of radon penetration into buildings and methods leading to the reduction of its concentration in rooms, e.g. by using anti-radon barriers (sealing and processing the substrate, sealing the substrate by concreting, sealing gaps and cracks with resin), treating the building foundations (pressure equalization or basement ventilation) or removing radon-contaminated air by using various ventilation techniques.

Keywords: Radon, buildings, radon entry paths, methods of reducing radon concentration.

Wstęp

Radon-222 jest bezbarwnym, bezwonnym gazem promieniotwórczym. Pochodzi z promieniotwórczego rozpadu radu-226, którego źródłem jest promieniotwórczy rozpad uranu-238. Ten cykl rozpadów nazywamy szeregiem promieniotwórczym uranowo-radowym, który pokazano na rysunku 1. Uran działa jako stałe źródło radonu i występuje w niewielkich ilościach prawie we wszystkich glebach i skałach, chociaż jego ilość jest różna w zależności od

miejsca. Poziom stężenia radonu różni się nie tylko w poszczególnych częściach kraju, ale nawet między sąsiednimi budynkami.

Radon w glebie i skałach miesza się z powietrzem i transportowany jest na powierzchnię, gdzie szybko rozchodzi się w atmosferze. Stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym są bardzo niskie. Jednak radon, który przedostaje się do przestrzeni zamkniętych, takich jak budynki, może w pewnych okolicznościach osiągać stosunkowo wysokie stężenia.

W wyniku promieniotwórczego rozpadu radonu-222 emitowane jest promieniowanie alfa i powstają niebezpieczne dla organizmu człowieka produkty rozpadu radonu stanowiące metale ciężkie, takie jak polon, bizmut i ołów, które także są promieniotwórcze. Gdy radon i produkty jego rozpadu są obecne w powietrzu, mogą być wdychane przez ludzi, dlatego najbardziej narażone są drogi oddechowe. Szczególnie niebezpieczne jest osadzanie się w drogach układu oddechowego promieniotwórczych produktów rozpadu radonu, które ulegają kolejnym procesom rozpadów, w tym alfapromieniotwórczym. Dlatego radon jest jedną z przyczyn raka płuc. Szacuje się, że radon powoduje od 3 do 14% wszystkich nowotworów płuc [1], w zależności od jego średniego krajowego poziomu i rozpowszechnienia palenia.

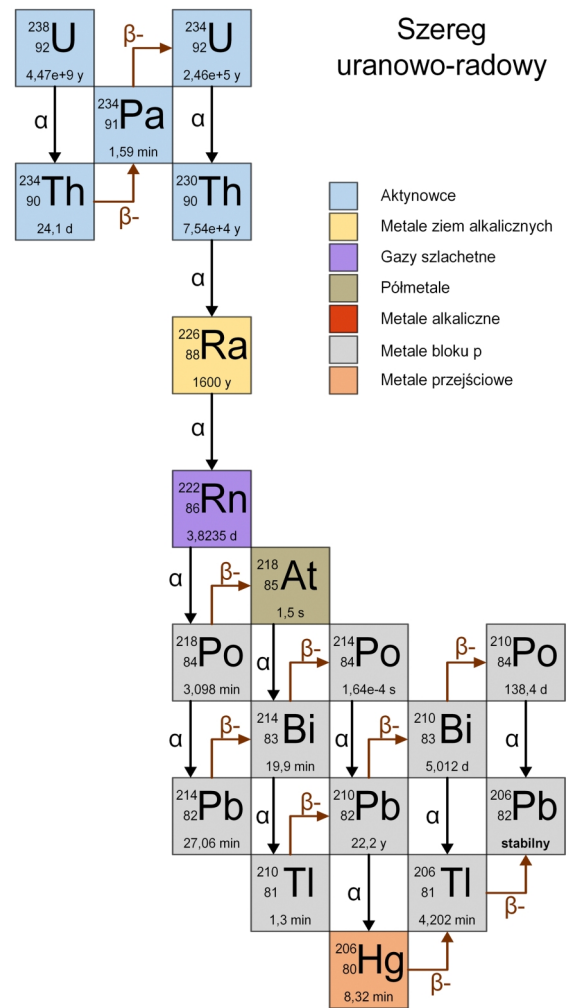
Zwiększony wskaźnik zachorowań na raka płuc został po raz pierwszy zaobserwowany u górników uranu narażonych na bardzo wysokie stężenia radonu. W Europie, Ameryce Północnej i Chinach przeprowadzono ponad 20 dużych badań epidemiologicznych, w których zanalizowano ryzyko raka płuc wywołanego radonem w domach. Najważniejszym i dającym najwięcej informacji badaniem jest wspólna ocena 13 badań europejskich opublikowanych w 2005 r. [2]. Wyniki tego badania stanowią zasadniczą podstawę do oceny ryzyka zdrowotnego związanego z radonem dokonanej przez Światową Organizację Zdrowia w Genewie [3]. Najważniejszym wnioskiem z tej oceny jest to, że radon w budynkach zwiększa ryzyko raka płuc i wzrasta ono proporcjonalnie do (długotrwałego) stężenia radonu w pomieszczeniach, tj. podwojenie stężenia radonu podwaja ryzyko.

Według danych Światowej Organizacji Zdrowia ryzyko raka płuca u ludzi długookresowo przebywających w miejscach o wysokim stężeniu radonu wzrasta o około 16% na 100 Bq/m³ wzrostu długookresowego średniego stężenia radonu. Zakłada się, że zależność dawka-odpowiedź jest liniowa – tzn. ryzyko raka płuca wzrasta proporcjonalnie ze wzrostem ekspozycji na radon.

Radon znacznie częściej powoduje raka płuc u osób palących. Szacuje się, że palacze są 25 razy bardziej narażeni na radon niż osoby niepalące. Do tej pory nie ustalono żadnych innych zagrożeń nowotworowych ani innych skutków zdrowotnych, chociaż wdychany radon może obciążyć dawką inne narządy niż płuca, ale na znacznie niższym poziomie. Dlatego tak istotny jest monitoring poziomu stężenia radonu oraz w razie jego wystąpienia zastosowanie adekwatnych metod zapobiegających przenikaniu tego promieniotwórczego gazu do budynku.

Jak radon dostaje się do budynku?

To, ile radonu może przeniknąć do budynku, zależy z jednej strony od zawartości radonu w glebie, a z drugiej strony od fundamentów budynku. Dostępna ilość radonu



Rys. 1. Szereg uranowo-radowy (opracowanie własne autora).

Fig. 1. Uranium series (author's own work).

zależy od stężenia aktywności radonu w powietrzu glebowym i uzupełniania radonu przez zwietrzały obszar gleby (tzw. strefa luźna) lub wzdłuż szczelin w skale. Połączenie budynku z podłożem zależy od metody budowy, stanu konstrukcji i użytkowania. Ważną rolę odgrywa również dobór materiałów budowlanych. Właściwości te decydują o istnieniu dróg wlotowych i ich przepuszczalności dla powietrza gruntowego zawierającego radon. Najczęstszym sposobem przedostawania się radonu do budynku jest różnica ciśnienia atmosferycznego pomiędzy jego wnętrzem i otoczeniem na zewnątrz. Radon może również wnikać do budynku poprzez dyfuzję, wodę z używanej studni i materiały budowlane.

Radon najczęściej dostaje się do budynku w wyniku różnicy ciśnienia atmosferycznego. Dzieje się to wówczas, gdy spełnione są wszystkie następujące cztery warunki, tzn. istnieje:

- 1) źródło radu, który rozpada się, tworząc radon,
- 2) ścieżka od źródła do budynku,
- 3) otwór¹ w budynku umożliwiający przedostawanie się radonu do jego wnętrza,

¹ Otwór – tu: pęknięcie, szczelina, nieuszczelniony przepust, przepuszczalny element konstrukcji budowlanej itp.

4) czynnik powodujący przemieszczanie radonu ze źródła do budynku przez otwór.

W budynkach występuje podciśnienie w stosunku do ich otoczenia. Powodem tego jest różnica temperatur między powietrzem wewnętrznym i zewnętrznym oraz ruchy powietrza wokół budynku. Niewielkie podciśnienie w budynku wystarcza do zassania powietrza gruntowego zawierającego radon z promienia ok. 10 do 20 metrów. Ponadto powietrze gruntowe zawierające radon może się przedostawać do sąsiednich pomieszczeń przez nieszczelności (spoiny, pęknięcia) na styku ziemi i budynku i rozprzestrzeniać się po całym domu.

Warto zwrócić uwagę na główne drogi wnikania radonu do budynków (rys. 2). Są to:

- pęknięcia i szczeliny w fundamentach, podłogach i ścianach,
- przepusty dla kabli (zwłaszcza z kanałami kablowymi) i rur,
- kanalizacja i studzienki,
- kominy,
- naturalne podłogi piwnic z ziemi, żwiru lub gruzu,
- inne konstrukcje przepuszczalne, np. stropy belkowe.

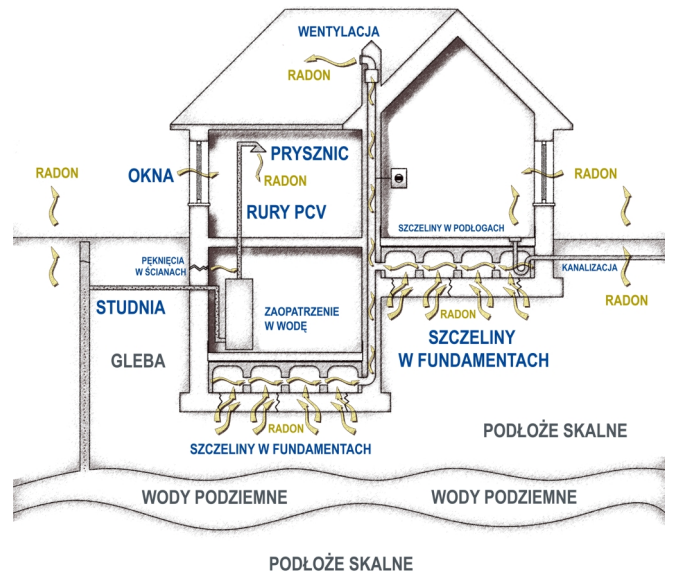
Inne źródła radonu

- Radon w materiałach budowlanych

Zawartość substancji promieniotwórczych w materiałach budowlanych zależy przede wszystkim od źródła ich pochodzenia. Jest znacznie wyższa dla materiałów pochodzących z krajów skandynawskich, w których podłoże geologiczne jest bogatsze w naturalnie występujące izotopy promieniotwórcze niż podłoże w Polsce [4]. Jednak struktura geologiczna Polski nie jest jednorodna. Rejony górskie, zwłaszcza południowo-zachodniej Polski, czyli tereny Sudetów, stanowią duże źródło naturalnie występujących substancji promieniotwórczych, które mają jednocześnie wpływ na zwiększoną obecność radonu w powietrzu. Zgodnie z polskim prawem stężenie naturalnych izotopów promieniotwórczych w materiałach budowlanych podlega kontroli przed wprowadzeniem ich do obrotu, a wszelkie przekroczenia od norm są przekazywane organom nadzoru budowlanego.

- Radon w wodzie pitnej

Radon jest łatwo rozpuszczalny w wodzie, dlatego transportowany jest poprzez wody gruntowe. Gaz może się przedostać do powietrza, gdy woda taka używana jest np. pod prysznicem, w pralkach i zmywarkach. Nie są to jednak duże ilości – z reguły dodaje to tylko kilka Bq/m³ do średniej rocznej stężenia radonu w pomieszczeniach. Jednak w szczególnych warunkach geologicznych, m.in. na terenach granitowych lub terenach ze złożami rudy uranu, wykorzystanie wody z poszczególnych studni może się przyczynić do podwyższenia stężenia radonu w pomieszczeniach mieszkalnych w większym stopniu.



Rys. 2. Drogi wnikania radonu do budynków (opracowanie własne autora).

Fig. 2. Paths of radon entry into buildings (author's own work).

Pomiar radonu w mieszkaniach

Nie jest celem tego artykułu szczegółowe omówienie pomiaru radonu, jednak ważne jest, aby ocenić, jak i gdzie należy mierzyć radon, żeby wybrać najbardziej odpowiednie rozwiązanie powodujące zmniejszenie jego stężenia dla konkretnego budynku. Ponieważ stężenie radonu może się zmieniać z sezonu na sezon, z dnia na dzień i co godzina, należy mierzyć to stężenie tak długo, jak to jest możliwe. Pomiar może być wykonany z użyciem pasywnych detektorów radonu (najczęściej wykorzystywane są detektory śladowe) i powinien trwać co najmniej miesiąc. Pomiar krótkoterminowe, trwające około tygodnia, mogą się okazać przydatne w diagnostyce, chociaż wyniki będą mniej dokładne i należy je interpretować ostrożnie.

W większości przypadków pomiary radonu będą przeprowadzane za pomocą co najmniej dwóch detektorów, w pomieszczeniach najczęściej używanych, np. jednego w głównym salonie, a drugiego w głównej sypialni, dając średni wynik dla domu. Niewłaściwe byłoby umieszczenie jednego z dwóch detektorów w niezamieszanej lub rzadko używanej piwnicy, ponieważ poziomy byłyby prawdopodobnie wyższe niż te, na które regularnie narażeni są mieszkańcy. Należy dokonywać pomiaru w regularnie zajmowanych pomieszczeniach.

Poziom radonu w piwnicy najczęściej będzie wyższy niż w pomieszczeniach nad ziemią². Istnieje wiele przyczyn takiego stanu rzeczy:

- Ściany i podłoga piwnicy mają bezpośredni kontakt z gruntem. W przypadku budynku z piwnicą powierzchnia styku budynku z gruntem, a tym samym powierzch-

² Są jednak badania, w których zmierzone stężenie radonu było wyższe na wyższych kondygnacjach. Najczęściej jest to wynik niewłaściwie zainstalowanej wentylacji.

nia wnikania radonu, jest większa niż w przypadku podobnej wielkości budynku bez piwnicy.

- Piwnice są często używane tylko do magazynowania i dlatego są słabo wykończone. W szczególności ściany często zawierają mnóstwo małych pęknięć i szczelin, z których wszystkie mogą się przyczyniać do przenikania radonu.
- Piwnice, które znajdują się całkowicie pod ziemią, są często słabo wentylowane, w związku z czym radon przenikający do nich może się tam gromadzić.

Jak można obniżyć poziom radonu w budynku?

Stężenie radonu można obniżyć do bezpiecznego poziomu w każdym budynku, niezależnie od wstępnych pomiarów. Większość strategii zmniejszających stężenie radonu w budynku polega na (1) doprowadzeniu świeżego powietrza z zewnątrz lub (2) zapobieganiu przedostawaniu się radonu do domu.

Od czego zacząć?

Zarówno w przypadku nowych budynków, jak i rekultywacji istniejących zaleca się przestrzeganie strategii pięciu etapów, obejmującej różne aspekty:

1. Określenie stanu początkowego – każdy budynek ma swoje specyficzne otoczenie, a każdy projekt budowlany ma swój konkretny punkt wyjścia (miejsca zwiększonego stężenia radonu, konieczność remediacji, wody gruntowe itp.).
2. Planowanie działań – na wczesnych etapach planowania podejmowanych jest wiele decyzji, które mogą znacznie zmniejszyć zagrożenie radonem lub nawet je usunąć (np. niezamienianie piwnic w lokale mieszkalne, prowadzenie rur i kabli itp.).
3. Uszczelnianie – wnikaniu radonu można zapobiec poprzez uszczelnianie konstrukcji budynku czy uszczelnienie gruntu.
4. Usuwanie radonu – radon można wydobyć spod budynku za pomocą odpowiednich otworów wentylacyjnych lub rurociągów.
5. Monitorowanie – bez monitoringu nie będzie pewności, że podjęte środki są rzeczywiście skuteczne.

W trakcie planowania i zarządzania projektem nowego budynku lub renowacji starego podejmowane są niezliczone decyzje. Wiele z nich w różnym stopniu wpływa na poziomy stężenia radonu, a to z kolei – na narażenie mieszkańców. Poniżej przedstawiono ważne i bezpośrednie korelacje.

Plan przydziału pomieszczeń

Nadmierne zanieczyszczenie radonem jest zazwyczaj problemem bliżej gruntu, np. w piwnicy. Dotyczy to jednak również mieszkań na parterze nad piwnicami. Każda strategia, która „oddziela” lokale mieszkalne lub użytkowe od gruntu, ogranicza zatem narażenie na radon. Przykłady:

- Rezygnacja z zamiany piwnic na lokale mieszkalne.
- Brak otwartego pionowego dostępu do piwnic – plany budynków z otwartą klatką schodową sprawiają, że cały budynek jest dostępny dla migracji radonu. Schody do piwnicy powinny być w jednym miejscu możliwe do zamknięcia, przynajmniej drzwiami hermetycznymi. Jeszcze lepsze jest osobne wejście do piwnicy z zewnątrz.
- Dostosowanie intensywności pracy do ryzyka radonowego – plan przydziału pomieszczeń często wyznacza indywidualne zastosowania o wyraźnie krótszych okresach zajmowania niż zwykle pomieszczenia mieszkalne. Pomieszczenia o wysokim lub średnim poziomie stężenia radonu powinny być zatem przeznaczone na pokoje gościnne, biurowe, hobbyistyczne itp.

Izolacja termiczna i szczelność

Jednym z podstawowych zadań budynku jest ochrona przed zimnem i przeciągami na obszarach zamieszkałych. Fachowo zbudowany lub wyremontowany budynek powinien mieć warstwy izolacji termicznej. Zwykle szczelność i izolacyjność termiczna są ze sobą połączone i zapewnia je ten sam element konstrukcyjny, taki jak ściana zewnętrzna czy okna. Czasami, zwłaszcza w piwnicy, sytuacja nie jest taka oczywista. Warstwa izolacyjna może się znajdować na stropie piwnicy, ale podbitka schodowa i ściany boczne są nieocieplone. W podbudowie rzadko można znaleźć rzeczywistą warstwę hermetyczną.

Metody zmniejszania stężenia radonu dają możliwość wykonania ciągłej warstwy pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi. Radon jest transportowany przez powietrze. Bez względu na to, jakie działania zostaną podjęte przeciwko nadmiernemu stężeniu radonu, szczelność i ochronę przed radonem można często osiągnąć za pomocą tych samych środków. Nie powinno to również wpływać na skuteczność izolacji cieplnej.

Prowadzenie rurociągów i kabli

Każda penetracja elementów konstrukcyjnych w pobliżu gruntu wskazuje na potencjalny wyciek radonu, niezależnie od tego, czy dukty kablowe są uszczelnione, czy zamocowane elastycznym uszczelniaczem.

Rury wodociągowe i gazowe, rury olejowe ze zbiorników ułożonych w ziemi itp. powinny w miarę możliwości przechodzić przez ściany, a nie przez podłogę. Przejścia boczne często dają możliwość wentylacji od góry. Zasadniczo to samo dotyczy mniejszych przepustów kablowych, takich jak kable elektryczne lub telewizyjne. Często kable te biegną w nieuszczelnionych kanałach. Przebicie ściany zamiast podłogi nie zastąpi jednak dobrego uszczelnienia duktów kablowych.

Odpiły powinny przechodzić przez podłogę piwnicy w jak najmniejszej liczbie miejsc. Ma to wpływ na wiele aspektów, począwszy od organizacji szafek łazienkowych na wyższych kondygnacjach i możliwości połączenia rur odpływowych nad podłogą piwnicy bez powodowania problemów z odpływem.

Wypełnianie kanałów odwadniających ziemią pochłania duże ilości gleby i często skutecznie tworzy system zbierania radonu. Projekt odwadniania powinien zatem przewidywać jak najmniejszą liczbę niepodzielonych odpływów pod budynkiem.

Odwierty do gruntowych pomp ciepła są głównymi kolektorami radonu. Nie powinny się znajdować pod fundamentami, ale powinny być oddzielone od budynku. Przejścia rur w budynku można wtedy stosunkowo łatwo uszczelnić i odprowadzić unoszący się radon.

Naturalne rozhermetyzowanie

Warto ułatwić tę naturalną wymianę powietrza na zewnątrz ścian i podłóg, które mają kontakt z glebą. Jeżeli na przykład (stosunkowo przepuszczalna) warstwa pod płytą fundamentową jest połączona z równie przepuszczalnym wypełnieniem z boku, powietrze gruntowe pod budynkiem jest wymieniane szybciej, a stężenie radonu ulega zmniejszeniu.

Szczegółowe metody obniżania stężenia radonu w budynkach zostały scharakteryzowane w tabeli 1.

Podsumowanie

Radon jest jedną z głównych przyczyn zachorowań na raka płuc. Jedynym sposobem na określenie poziomu stężenia radonu w budynku jest wykonanie pomiaru. W celu zmniejszenia stężenia radonu w budynkach należy stosować dwie zasady: 1) zapobiegać przedostawaniu się radonu z gruntu do budynków oraz 2) zmniejszyć stężenie radonu w pomieszczeniach.

Wyróżnia się trzy kategorie technik prowadzących do ograniczania stężenia radonu w budynkach:

1. Pierwsza kategoria obejmuje bariery przeciw radonowi (uszczelnianie i obróbka podłoża, uszczelnienie podłoża poprzez zabetonowanie, uszczelnienie szczelin i pęknięć żywicą).
2. Druga kategoria to obróbka fundamentów budynku (wyrównanie ciśnienia czy wentylacja piwnicy).
3. Trzecia kategoria ma na celu usuwanie powietrza zanieczyszczonego radonem poprzez zastosowanie różnych technik wentylacji (wentylacja naturalna, wenty-

lacja mechaniczna, wentylacja gruntu na wysokości posadowienia, poprzez stworzenie wentylowanej pustej przestrzeni, poprzez wytworzenie nadciśnienia w budynku).

Wdrażanie tych środków powinno postępować stopniowo, począwszy od środków pierwszej kategorii, aż do wytworzenia nadciśnienia w budynku, jeśli to konieczne.

Notka o autorze

Mgr Łukasz Koszuk – w latach 2009–2019 pracownik Zakładu Energetyki Jądrowej w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (Zespół Obliczeń Neutronowych i Nowych Technologii), obecnie doktorant w Zakładzie Fizyki Jądrowej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Współzałożyciel i Prezes Fundacji Forum Atomowe. Zawodowo zajmuje się fizyką reaktorów jądrowych.

Literatura

1. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
2. Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H., Bochicchio F., Deo H., Falk R., Forastiere F., Hakama M., Heid I., Kreienbrock L., Kreuzer M., Lagarde, Mäkeläinen I., Muirhead C., Oberaigner W., Pershagen G., Ruano-Ravina A., Ruosteenoja E., Rosario A.S., Tirmarche M., Tomasek L., Whitley E., Wichmann H.E., Doll R., *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. British Medical Journal 2005; 330:223.
3. WHO Handbook on Indoor Radon, WHO 2009.
4. *Radon-Handbuch Deutschland*, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2019.
5. Scivyer C.R., and Jaggs M.P.R., *Dwellings with cellars and basements. A BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings*, Construction Research Communications Ltd, London, 1998.
6. Trevisi R., D'Alessandro M., Nuccetelli C., Risica S., Serena, *Radioactivity in building materials: a first overview of the European scenario*. IRPA 12: 12 International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide, Argentina, 2008.
7. *Swiss Radon Handbook*, Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern, 2000.
8. *Radon in Gebäuden Sanierungs- und Vorbeugungsmaßnahmen*, FANK federale Agentschaft für nukleare Kontrolle, <http://www.fanc.fgov.be>
9. *Reducing Radon Levels in Existing Homes: A Canadian Guide for Professional Contractors*, Health Canada, Ottawa, Ontario, 2010.
10. *Radon Prevention in the Design and Construction of Schools and Other Large Buildings*, United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., 1994.

Tabela 1. Metody obniżania stężenia radonu w budynkach.**Table 1.** *Methods of reducing the concentration of radon in buildings.*

Metoda	Opis problemu	Ograniczenia	Jak to wykonać?
Pokrycie gruntu pod budynkiem			Należy wykopać piwnicę z ubitą posadzką i wylać betonową płytę posadzkową. Przed wylaniem betonu na grunt z ubitej ziemi należy nałożyć warstwę żwiru o grubości 10 cm. Następnie należy nałożyć folię geotekstylną oraz folię polietylenową. Wszystkie połączenia muszą być starannie uszczelnione. Grunt z ubitej ziemi może być pokryty warstwą nieprzepuszczającą gazów (z otworami do pasywnej wentylacji wyprowadzonej na zewnątrz) lub betonem.
Zamknięcie pęknięć, szczelin i otworów	Radon przenika do budynku przez każdy otwór, nieważne, jak jest mały. Uszczelnienie tych pęknięć i otworów jest często niezbędnym przygotowaniem przed zastosowaniem innych metod. W budynkach, w których radon jest tylko niewielkim problemem, samo uszczelnienie jest wystarczające. W niektórych budynkach uszczelnienie określonych obszarów jest trudne lub wręcz niemożliwe. Jest to głównie górna część ścian z bloczków betonowych lub cegieł, przestrzeń między ścianą z pustaków a zewnętrzną okładziną ceglaną oraz ukryte w murze otwory.	Bardzo trudno jest znaleźć wszystkie pęknięcia i otwory w budynku. Ponadto z biegiem czasu osadzenie budynku i inne naprężenia mogą powodować dodatkowe pęknięcia. Dlatego inspekcję należy przeprowadzać co najmniej raz w roku.	Połączenia między ścianami a podłogą uszczelnić elastyczną folią poliuretanową PU, zaprawą lub pianką izolacyjną. Należy ostrożnie odstąpić pęknięcia i otwory wlotowe rur, aby można je było zamknąć odpowiednimi produktami uszczelniającymi, które nie kurczą się i nie przepuszczają gazu. W przypadku ścian porowatych (zwłaszcza ścian z bloczków betonowych) należy na odpowiednio przygotowanym podłożu nałożyć wodoodporną farbę, cement lub żywicę epoksydową.
Wentylacja fundamentu	Naturalna lub mechaniczna wentylacja piwnicy.	Wentylacja naturalna jest najtańsza. Jednak jej wpływ na poziom radonu w pomieszczeniach jest często bardzo ograniczony. Ilość przepływającego powietrza rzeczywiście zależy od pogody i dlatego nie można jej kontrolować. Z biegiem czasu ludzie również zapominają o swoich dobrych intencjach i coraz mniej wietrzą pomieszczenia. Wentylacja mechaniczna umożliwia stały przepływ powietrza, niezależny od pogody i gwarantujący stały efekt. Ma szereg wad, w szczególności zużycie energii (zużycie prądu i straty ciepła) czy zanieczyszczenie hałasem.	Należy wykonać otwory wentylacyjne po dwóch przeciwległych stronach piwnicy lub przestrzeni wentylowanej. Przepływ powietrza przez dwa przeciwległe otwory może być nawet 10 razy silniejszy niż przez otwory w tej samej ścianie. Należy się upewnić, że żywność, instalacje sanitarne i rury grzewcze są chronione przed mrozem. Trzeba zaizolować podłogę pomiędzy piwnicą lub przestrzenią wentylowaną a wnętrzem budynku, aby uniknąć dużych strat energii. Zapewnić otwory w wewnętrznych ścianach piwnicy lub wentylowanej przestrzeni, aby umożliwić dobrą cyrkulację powietrza. To zalecenie dotyczy przede wszystkim dużych powierzchni.
Poprawa wentylacji budynku	Jeżeli budynek nie posiada systemu wentylacji lub jest niedostatecznie wentylowany, należy rozważyć zainstalowanie odpowiedniego systemu wentylacji. Wentylacja naturalna istnieje we wszystkich budynkach dzięki przepływowi powietrza przez otwory (okna, szczeliny, pęknięcia), pod wpływem wiatru, różnic temperatur i ciśnień pomiędzy powietrzem wewnątrz a powietrzem na zewnątrz. Nowsze budynki są zwykle bardziej „uszczelne”, ich wymiana powietrza jest bardzo niska, jeśli nie są wyposażone w systemy wentylacyjne.	Ze względu na warunki klimatyczne technika ta nie może być stosowana przez cały rok, ponieważ powoduje niedogodności i/lub wzrost kosztów ogrzewania.	Wystarczy przewietrzyć najniższą kondygnację budynku, jeśli ma ona bezpośredni kontakt z gruntem. Jeśli budynek ma piwnicę lub wentylowaną pustą przestrzeń, należy ją przewietrzyć. Jeśli nie ma piwnicy, obszary zamieszkałe/użytkowane muszą być wentylowane. Zaleca się otwieranie okien na wszystkich kondygnacjach (również tych, na których znajdują się główne pomieszczenia mieszkalne/użytkowe), jeśli pozwalają na to warunki zewnętrzne. Radon wnika do budynku, gdy ciśnienie powietrza w piwnicy lub na najniższej kondygnacji jest niższe niż ciśnienie powietrza na sąsiedniej kondygnacji. Dlatego system wentylacyjny w żadnym wypadku nie może dalej obniżać ciśnienia powietrza w budynku, aby nie zwiększać „efektu kominowego”. Należy więc bardzo uważać, aby otwory piwniczne, otwory wentylacyjne lub okna były otwierane równomiernie ze wszystkich stron. Należy podjąć środki ostrożności, aby uniknąć zamarzania rur podczas wietrzenia nieogrzewanych pomieszczeń.

<p>Wentylacja przez cyrkulację powietrza</p>	<p>Zamiast zdawać się na naturalny ruch powietrza, do działania można zastosować wentylatory recyrkulacyjne (zwane również systemami wentylacji), aby zapewnić odpowiednią wentylację. Na przykład można zamontować kratki wentylacyjne oraz wentylator, który w sposób ciągły doprowadza świeże powietrze do budynku kanałami instalacji centralnego ogrzewania (jeśli taki jest). Należy wówczas dopilnować, aby drzwi i okna były zamknięte.</p>	<p>Wentylacja recyrkulacyjna, podobnie jak wentylacja naturalna, może być stosowana w większości budynków, jednak w wielu przypadkach obniża komfort i/lub zwiększa koszty ogrzewania. Ta metoda może być stosowana tymczasowo, jeśli poziom radonu jest bardzo wysoki, aż do podjęcia ostatecznych działań.</p>	<p>Konieczne należy przewietrzyć najniższą kondygnację budynku (można też rozważyć zamknięcie piwnicy i zaprzestanie jej użytkowania). Powietrze musi być wdmuchiwane do budynku i mieć możliwość ucieczki przez okna lub otwory wentylacyjne w sąsiednich lub przeciwległych ścianach. W wielu budynkach powietrze może być poprowadzone przez istniejącą instalację centralnego ogrzewania.</p>
<p>Wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła</p>	<p>Ta metoda (czasami nazywana „wymiennikiem ciepła powietrze-powietrze”) pozwala na odzyskanie od 50 do 80% ciepła traconego w podobnym systemie wentylacyjnym bez tego urządzenia. Systemy wentylacyjne są opracowywane, instalowane i dostosowywane przez specjalistów z dziedziny techniki grzewczej, wentylacyjnej i klimatyzacyjnej. Mniej skomplikowane jednostki naścienne można zainstalować bezpośrednio. Jeden wentylator służy do doprowadzania powietrza bezpośrednio do budynku, a drugi do wydmuchiwania go.</p>	<p>Stosowanie systemu wentylacji z odzyskiem ciepła jako jedyne sposobu obniżenia poziomu radonu jest skuteczne tylko wtedy, gdy początkowy poziom radonu nie przekracza 400 do 600 Bq/m³. Większą redukcję można osiągnąć w budynkach szczelnych.</p>	<p>Aby uprościć prowadzenie rurociągów w różnych częściach budynku, w odległej jego części, takiej jak piwnica lub magazyn, można zainstalować system wentylacji z odzyskiem ciepła, składający się z elementu centralnego i kilku wentylatorów. Należy upewnić się, że otwory doprowadzające świeże powietrze znajdują się w wystarczającej odległości od otworów powietrza wywiewanego, instalując wylot powietrza zanieczyszczonego radonem w piwnicy lub w najniższym punkcie budynku. Należy się upewnić, że równowaga pomiędzy wnętrzem a otoczeniem na zewnątrz została ustalona bez różnicy ciśnień. Ogólnie rzecz biorąc, systemy wentylacyjne z odzyskiem ciepła są ekonomicznie opłacalne, jeśli działają przy większej różnicy między temperaturą wewnętrzną i zewnętrzną. Jeśli tak nie jest, taką samą wentylację i usuwanie radonu można uzyskać otwierając okna. Przepustowość powietrza tworzona przez otwarcie okna może być znacznie większa.</p>
<p>Wentylowanie budynku przez wyciąganie powietrza</p>	<p>Niektóre wentylatory wyciągowe i systemy spalania (piece kaflowe na drewno lub wkłady kominkowe) mogą zmniejszać ciśnienie w budynku poprzez zużywanie powietrza i/lub wypuszczanie go na zewnątrz. Im niższe ciśnienie w budynku w stosunku do nacisku gruntu, tym więcej powietrza zanieczyszczonego radonem może się dostać do wnętrza z podłoża.</p>	<p>Skuteczność technik redukcji podciśnienia w celu obniżenia poziomu radonu zależy od pogody.</p>	<p>Jeśli konieczne jest użycie wentylatorów wyciągowych, należy nieco uchylić okna obok nich. Należy zrobić to samo z oknami, które znajdują się w pobliżu pieców kaflowych, źródeł ciepła lub innych systemów spalania. Ułatwia to dopływ świeżego powietrza z zewnątrz. Należy zainstalować system, który będzie stale zasilał domowe spalarnie powietrzem z zewnątrz. W przypadku instalacji centralnego ogrzewania i klimatyzacji na gorące powietrze należy uszczelnić wszystkie kanały powietrzne zimnego powietrza znajdujące się w piwnicy lub w wentylowanej pustej przestrzeni (nie spowoduje to utraty równowagi instalacji). W ten sposób mniej powietrza przedostaje się do rurociągów spod ziemi. Należy zamknąć wszystkie kanały powietrzne (otwory w stropach między piętrami), aby uniemożliwić cyrkulację powietrza w budynku, a także zamknąć otwory wykonane w ścianach budynku na wyższych kondygnacjach, aby mniej powietrza mogło się wydostać.</p>
<p>Zasysanie powietrza zawierającego radon pod płytą fundamentową</p>	<p>Metoda ta sprawdza się szczególnie dobrze w przypadkach, gdy fundament został zbudowany na powierzchni skały żwiastnej lub na glebie porowatej. Jeśli przepuszczalność pod płytą fundamentową nie jest zbyt dobra, można zastosować wyciąg powietrza. Może być konieczne zastosowanie większej liczby rur ssących.</p>	<p>Metoda ta sprawdza się szczególnie dobrze w przypadkach, gdy fundament został zbudowany na powierzchni skały żwiastnej lub na glebie porowatej. Jeśli przepuszczalność pod płytą fundamentową nie jest zbyt dobra, można zastosować wyciąg powietrza. Może być konieczne zastosowanie większej liczby rur ssących.</p>	<p>Należy użyć wentylatora, aby odprowadzić radon przenikający z ziemi do fundamentów przez szyb drenażowy lub pojedyncze rury, które są umieszczone pod płytą betonową. Rury można przebić przez płytę fundamentową pionowo od góry do dołu wewnątrz budynku lub poziomo przez ścianę fundamentu poniżej płyty fundamentowej. Rury powinny odprowadzać radon na poziomie dachu, z dala od okien i otworów wentylacyjnych, które mogłyby umożliwić ponowne przedostawanie się gazu do budynku.</p>
<p>Wentylacja ciśnieniowa</p>	<p>Przy najpopularniejszej technologii powietrze z górnej części kierowane jest do piwnicy. W niektórych przypadkach możliwe jest wdmuchiwanie powietrza z górnej części do wentylowanej przestrzeni.</p>	<p>Ta technika może być stosowana tylko w budynkach, które mają piwnicę stosunkowo dobrze uszczelnioną w stosunku do zamieszkałych/użytkowanych pomieszczeń. Skuteczność systemu można całkowicie zniwelować, otwierając drzwi lub okna piwnicy. Montaż wentylatora na poziomie zajmowanej przestrzeni może powodować hałas i wibracje. Aby temu zaradzić, można zainstalować wentylator w piwnicy lub na strychu i poprowadzić rury przez pomieszczenia mieszkalne/użytkowe.</p>	<p>Należy uszczelnić przegrodę między piwnicą a górną kondygnacją lub między piwnicą a otoczeniem. Należy wprowadzić powietrze z górnych kondygnacji do piwnicy. Jeśli wymagane są otwory w górnych częściach budynku, nie mogą być one zbyt duże, aby uniknąć większych strat energii.</p>

Efekty ochronne w radiolizie naturalnych i syntetycznych polimerów

Protective effects in radiolysis synthetic and natural polymers

Wojciech Głuszewski
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

Streszczenie: Działanie ochronne związków aromatycznych, występujące w organicznej chemii radiacyjnej jest interesujące zarówno z punktu widzenia oddziaływania promieniowania jonizującego na organizmy żywe, jak i modyfikacji tworzyw sztucznych. W artykule omówiono wyniki własnych badań nad efektem ochronnym w radiolizie polipropylenu (PP). Głównym celem prac było opisanie wpływu dodatków aromatycznych na pierwotne produkty radiolizy (dziury i elektrony) powstające w wyniku jonizacji. Po raz pierwszy w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w latach 2000–2008 zastosowano w tym celu spektrofotometrię absorpcyjną w wersji odbiciowej światła rozproszonego (DRS) i chromatografię gazową (GC). Skojarzenie tych dwóch metod analitycznych pozwoliło uzyskać wiele cennych informacji na temat tworzenia się makroradników i rodników nadtlenkowych w obecności aromatów. Prace te uzupełniły nieliczne dotychczasowe badania podstawowe radiolizy polipropylenu prowadzone głównie za pomocą radiolizy impulsowej. Zdobyto dowody na postulowany przez nas znaczny udział w zjawisku ochronnym transportu dziury z gniazda jonizacji do związku aromatycznego. Trzeba dodać, że koncepcja ta została przedstawiona już w latach pięćdziesiątych przez Malcolm Dole'a, ale nie doczekała się wówczas eksperymentalnego potwierdzenia.

Słowa kluczowe: Radioliza, polimery, efekt ochronny, polipropylen.

Abstract: *The protective effect of aromatic compounds in organic radiation chemistry is interesting both in terms of the impact of ionizing radiation on living organisms and the modification of plastics. The article discusses the results of own research on the protective effect in the radiolysis of polypropylene (PP). The main aim of the work was to describe the influence of aromatic additives on primary products (holes and electrons) resulting from ionization. For the first time at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology in 2000–2008, diffuse reflectance spectroscopy (DRS) and gas chromatography (GC) were used for this purpose. The combination of these two analytical methods yielded a great deal of valuable information on the formation of macro radicals and peroxy radicals in the presence of aromas. These works supplemented the scarce basic research conducted so far, mainly with the use of impulse radiolysis. Evidence has been obtained for the significant contribution we postulate to the protective phenomenon of the transport of a positive hole from the ionization seat to the aromatic compound. It should be added that this concept was introduced in the 1950s by Malcolm Dole, but was not experimentally confirmed at that time.*

Keywords: *Radiolysis, polymers, protective effect, polypropylene.*

Efekt ochronny

Efekt ochronny odkryto, badając odporność radiacyjną mieszanin benzenu i cykloheksanu. Zjawisko to zostało opisane w roku 1960 w pracy Freemana [1]. Wcześniej już wiadano, że węglowodory alifatyczne stosunkowo łatwo ulegają radiolizie w przeciwieństwie do węglodorów aromatycznych wykazujących bardzo dobrą odporność na działanie promieniowania jonizującego. Przyczynę tego stanu rzeczy tłumaczy się szczególnym mechanizmem przemiany w ciepło energii pochłoniętej w benzenie i jego

pochodnych. Zupełnym zaskoczeniem był jednak w przypadku mieszanin benzenu i cykloheksanu brak liniowej zależności stopnia radiolizy w funkcji składu mieszaniny. Już niewielkie ilości związku aromatycznego chroniły cykloheksan przed rozkładem radiolitycznym. Zjawisko zmniejszenia wydajności radiolizy alifatycznego cykloheksanu przez aromatyczny benzen nazwano „efektem ochronnym”. Jerzy Kroh wykonał inne doświadczenie, szokowo zamrażając mieszaninę w ciekłym azocie. Powstanie dużych obszarów bezpostaciowych i krystalicznych uniemożliwiających przenoszenie ładunków powodowało, że

radioliza w benzenie i cykloheksanie zachodziła w sposób niezależny. Badania wykonane w innym ośrodku, gdzie mieszanina osadzona była z fazy gazowej na zimnym palcu (dając odpowiednio małe kryształy), udowodniły, że zachowuje się ona podobnie jak mieszaniny ciekłe. Nie udało się dotychczas określić progu wymiaru kryształitów, poniżej którego efekt ochronny jest obserwowany. Z punktu widzenia praktycznego problem jest bardzo istotny, bowiem w przypadku materiałów polimerowych najczęściej mamy do czynienia z mieszaninami o różnym stopniu kontaktu składników i różnym poziomie krystaliczności. Ogólnie można jedynie powiedzieć, że efekt ochronny będący wynikiem przenoszenia energii wymaga bliskiego kontaktu związku ochronnego.

Ze względów praktycznych potencjalne związki ochronne dodawane są do polimerów w postaci komponentów [2]. Mimo że nie ma bezpośredniego połączenia między łańcuchem a stabilizatorem, energia pochłonięta przez polimer przenosi się do związku ochraniającego, który zgodnie z opisanym poprzednio mechanizmem rozprasza energię, sam nie ulegając rozkładowi. W tym przypadku dosyć nieoczekiwanie wspólny obszar znalazły chemia radiacyjna i fotochemia [3]. Należy jednak zawsze pamiętać, że mechanizm oddziaływania obu rodzajów promieniowania jest zupełnie różny. Światło absorbowane jest selektywnie przez określone związki i grupy chemiczne (grupy chromoforowe). Promieniowanie jonizujące działa na wszystkie składniki materiału w sposób proporcjonalny do ich udziałów elektronowych.

Niezwykle interesujące i ważne dla chemii radiacyjnej polimerów jest opisanie zjawisk ochronnych na pierwotnym etapie jonowych produktów radiolizy. Temat ten był jednym z zasadniczych celów badań. Obserwowane w praktyce efekty ochronne na etapie końcowych procesów utleniania mają przecież swój początek w zjawiskach ograniczających liczbę powstających pierwotnie makrorodników. Opisując działanie dodatków antyutleniających, autorzy najczęściej pomijają ich działanie na etapie jonizacji polimeru. Interesujące było zbadanie, jaki procent w stabilizującym działaniu „antyoksydantów” ma rozpraszanie energii przez związki aromatyczne, a jaki – procesy przebiegające z udziałem wolnych rodników i pośrednich produktów utleniania. Wydaje się, że ze względów energetycznych najbardziej prawdopodobna jest wędrówka ładunku (dodatniej dziury), nie wymaga to bowiem po drodze zmiany konformacji łańcucha polimerowego. Oczywiście, mówiąc o ruchu dziury wzdłuż łańcucha, mamy na myśli przeniesienie elektronu w kierunku przeciwnym. Eksperymentalnie stwierdzono, że podstawowym produktem gazowym radiolizy polimerów jest wodór, którego jest ponad 95%. Resztę stanowią produkty powstałe w gniazdach wielojonizacyjnych i w procesach postradiacyjnych. Tak więc radiacyjna wydajność wodoru (G_{H_2}) jest wygodnym miernikiem odporności polimeru na

działanie promieniowania jonizującego i jest stosowana w badaniach porównawczych efektów ochronnych [4].

Gniazda wielojonizacyjne

W polimerach należy brać pod uwagę tworzenie się obok gniazd jednojonizacyjnych również gniazd wielojonizacyjnych. W pewnym przybliżeniu można przyjąć, że około 20% energii zostanie odłożone w ten właśnie sposób z udziałem elektronów o dużym LET (ang. *linear energy transfer*) [5]. Produkty gniazd wielojonizacyjnych i jednojonizacyjnych różnią się w sposób zasadniczy. W pierwszym przypadku dochodzi najczęściej do przerwania łańcucha, w drugim jedynie do oderwania produktów gazowych (najczęściej wodoru), który bezpowrotnie opuszcza materiał. Tak więc konsekwencje działania promieniowania na polimer są bardzo różne i zależą od budowy łańcucha, wielkości pochłoniętej dawki i warunków napromieniania. Gniazda wielojonizacyjne tworzą się w sposób przypadkowy w miejscu odkładania energii przez końcowe generacje cząstek jonizujących i nie mają możliwości przemieszczania się wzdłuż łańcucha.

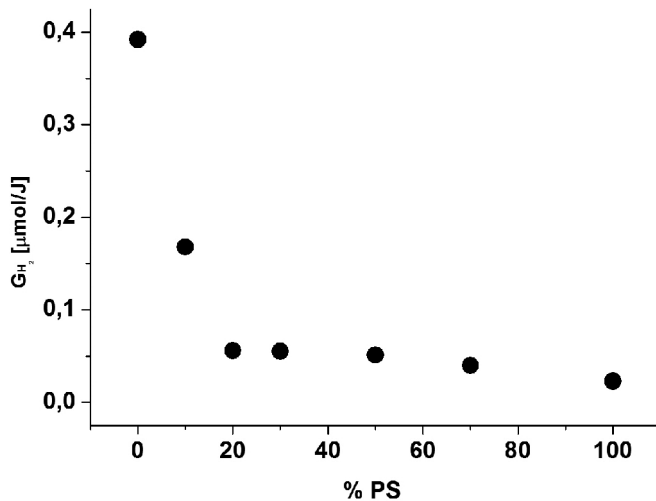
Autorzy analizują wyniki badań zwykle z punktu widzenia jedynie prostych uszkodzeń radiacyjnych, pomijając zupełnie problem niehomogeniczności odkładania energii promieniowania jonizującego [6]. Można odnieść wrażenie, że teoria gniazd jest we współczesnej literaturze niepopularna albo niedoceniana. Wynika to zapewne z tego powodu, że bardzo trudno w praktyce odróżnić efekty postradiacyjne wywołane w miejscach o różnej ilości zdeponowanej energii.

Określenie roli gniazd wielojonizacyjnych w procesie przenoszenia energii wydaje się ważnym zagadnieniem z punktu widzenia poznania zjawisk ochronnych w polimerach, chociaż, jak już było powiedziane, eksperymentalnie bardzo trudne.

Polipropylen

Stosowane powszechnie polimery (polietylen, polipropylen) są mało odporne na działania tlenu atmosferycznego i światła. Z tego powodu dodaje się do nich zawsze domieszki działające antyutleniająco i fotostabilizująco, bez których byłyby praktycznie bezużyteczne, a przetwórstwo wręcz niemożliwe [7]. Są to najczęściej związki aromatyczne pochodne fenoli i amin (typu Irganoksu i HALS – *hindered amine light stabilizers*). Ich zadaniem jest przyjęcie na siebie energii światła i zamiana jej na ciepło (niektóre z nich ulegają rozkładowi w akcie tzw. samopoświęcenia). Ilość stabilizatorów jest zazwyczaj niewielka, około 0,1%. Te same niewidoczne praktycznie przez promieniowanie jonizujące dodatki związków aromatycznych wykazują jednak działanie ochronne w procesach radiolitycz-

nych [8, 9, 10, 11, 12]. Jest to możliwe dzięki mechanizmowi przenoszenia ładunku i energii, jednemu z ciekawszych zjawisk charakterystycznych dla chemii radiacyjnej polimerów [13, 14, 15]. Zjawiska ochronne bardzo często przedstawia się w formie charakterystycznych krzywych zależności wydajności radiolizy polimeru od zawartości dodatku stabilizatora. Stopień odchylenia od addytywności jest miarą ochronnego działania dodatku [16] (rys. 1).



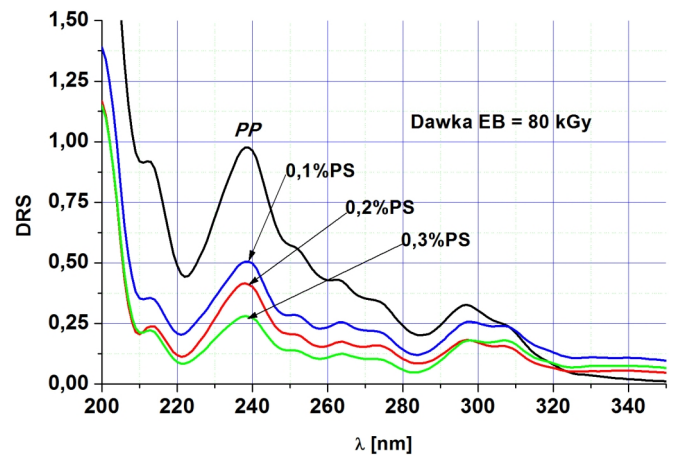
Rys. 1. Zależność radiacyjnej wydajności wydzielania wodoru od zawartości polistyrenu w mieszaninach PP/PS. Mieszanki otrzymano poprzez nasączenie proszku PP styrenem i inicjacji polimerizacji promieniowaniem jonizującym.

Fig. 1. The dependence of the radiative efficiency of hydrogen evolution on the content of polystyrene in PP/PS mixtures. The mixtures were obtained by impregnating the PP powder with styrene and initiating the polymerization with ionizing radiation.

Spektroskopia absorpcyjna w wersji odbiciowej światła rozproszonego (DRS)

Literatura w zakresie wykorzystania DRS do badania postradiacyjnych procesów utleniania polimerów ogranicza się w praktyce do prac wykonanych w IChTJ [17]. Metoda spektrofotometrii UV/Vis DRS daje widma absorpcyjne próbki wyrażone funkcją Kubelki i Munka – $F(R)$, z której można wyprowadzić zwykłą gęstość optyczną. Wymaga to pewnych zabiegów, a w naszych pracach wystarczało jej półilościowe potraktowanie.

Intensywność widma absorpcji w maksimum 220–280 nm można traktować jako miarę degradacji poli-propylenu w wyniku zachodzących procesów utleniania, których efektem końcowym są grupy karbonylowe w środku łańcucha (rys. 2). Na pełny kształt widma ma wpływ rodzaj podstawników w cząsteczce. Można więc sądzić, że nieco inne widmo otrzymamy dla związków na końcu łańcucha polimerowego. Związkowi tym przypisuje się pasmo w zakresie 290–320 nm. W badaniach procesów postradiacyjnego utleniania zauważa się wzrost intensywności pasm powyżej 280 nm, co pozwala obserwować wydajność zjawisk degradacji łańcuchów polimerowych [18].

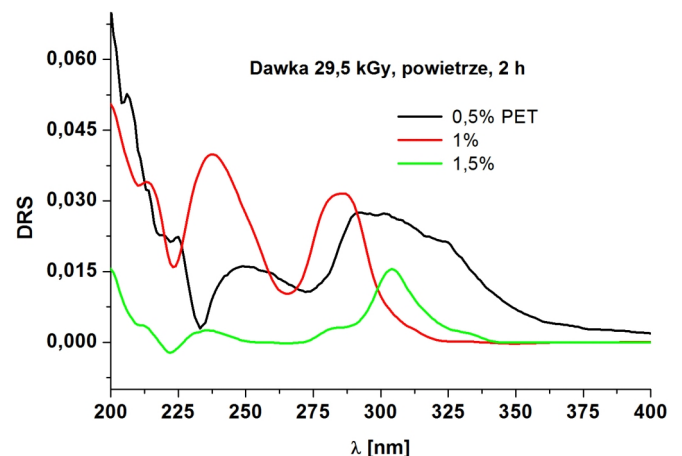


Rys. 2. Przykładowe widma DRS dla mieszanin PP/PS. Piki w zakresie 200 nm przypisano pierwotnym rodnikom nadtlenkowym. Wyraźnie widać efekt ochronny dodatku związku aromatycznego na procesy postradiacyjnego utleniania. Dodatek 0,3% PS zmniejsza intensywność piku w zakresie 238 nm niemal czterokrotnie.

Fig. 2. Exemplary DRS spectra for PP/PS mixtures. The peaks in the 200 nm range were assigned to the primary peroxide radicals. The protective effect of the addition of an aromatic compound on the post-radiation oxidation processes is clearly visible. The addition of 0.3% PS reduces the peak intensity in the 238 nm range almost fourfold.

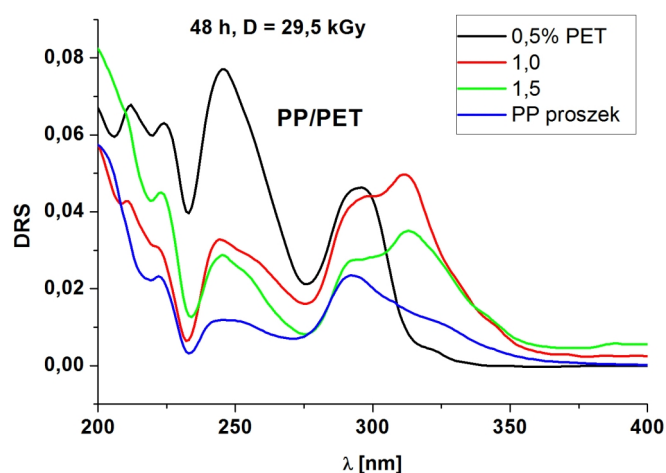
Radioliza mieszaniny PP/PET

Praktycznym przykładem efektu ochronnego na etapie postradiacyjnego utleniania są badania radiolizy mieszanin PP z aromatycznym polimerem PET (politereftalan etylenu) przy zastosowaniu DRS. W uzyskanych widmach widać obniżenie intensywności pasma absorpcji światła 210 nm (zmniejszenie liczby rodników nadtlenkowych) ze wzrostem zawartości PET bezpośrednio po napromieniowaniu. Po dwóch dobach obserwujemy w procesie postradiacyjnej oksydegradacji zdecydowanie największy przyrost grup karbonylowych dla próbki o najmniejszej zawartości PET.



Rys. 3. Widma DRS dla mieszanin PP/PET bezpośrednio po napromieniowaniu.

Fig. 3. DRS spectra for PP/PET mixtures immediately after irradiation.



Rys. 4. Widma DRS dla tych samych mieszanin PP/PET po 48 h.

Fig. 4. DRS spectra for the same PP/PET mixtures after 48 h.

Dyskusja wyników

Zasięg efektu ochronnego obliczano na podstawie analizy wydzielanego wodoru, postradiacyjnie pochłanianego tlenu oraz wydzielania metanu. Wydajności wydzielania gazów oznaczane za pomocą chromatografii gazowej przedstawiano w funkcji zawartości związków aromatycznych w mieszaninach PP/aromat [19].

W pracy udowodniono tezę, że główną rolę w zjawiskach ochronnych w chemii radiacyjnej polimerów odgrywa aromatyczny charakter stabilizatorów. Zdolność struktur aromatycznych do rozpraszania energii pozwala zapobiegać tworzeniu się makrorodników w wyniku oderwania atomów wodoru. W ten sposób można już na pierwotnym etapie jonizacji polimeru zapobiegać jego dalszej oksydegradacji.

Związki aromatyczne wykazują również działanie ochronne w procesach postradiacyjnej degradacji polipropylenu. Zmniejszenie ilości nadtlenków mimo niekiedy ograniczonego działania ochronnego na etapie tworzenia makrorodników dowodzi, że związki aromatyczne powodują zmiatanie wolnych rodników lub ich blokowanie w wyniku reakcji szepienia.

Badania własności mechanicznych i analiza chromatograficzna wskazują, że dochodzi do szepienia związków aromatycznych z matrycą polipropylenową w cyklu postradiacyjnego utleniania polipropylenu. Dowodzi tego względny wzrost wydłużenia względnego, wytrzymałości na rozciąganie oraz modułu Younga w procesie starzenia próbek kompozycji PP/PS, jak również oznaczony postradiacyjnie wodór (po wcześniejszym usunięciu produktów gazowych powstałych w procesie napromieniania). Powstające postradiacyjnie rodniki muszą więc inicjować szepienia aromatu na polipropylenie i sieciowanie polimerów aromatycznych. Za takimi mechanizmami przemawiają eksperymentalnie stwierdzone zwiększone wydajności postradiacyjnie wydzielanego wodoru z kompozycji

PP/PS w stosunku do czystych polimerów. Dowodem jest również częste polepszenie względnych parametrów mechanicznych kompozycji PP/PS w procesie starzenia.

Ograniczenie radiacyjnie wydzielanego z PP bezpośrednio po napromieniowaniu metanu pozwala przypuszczać, że efekty ochronne mogą zachodzić również w obrębie gniazd wielojonizacyjnych. Świadczy o tym typowy dla efektu ochronnego charakter zależności wydajności metanu od zawartości dodatków aromatycznych. Stabilizatory, rozpraszając część energii, zmniejszają statystycznie liczbę miejsc, w których dochodzi do bezpośredniego przerywania łańcucha polimeru i oderwania produktów o mniejszym ciężarze cząsteczkowym (np. metanu).

Zjawiska ochronne obserwowane na etapie jonizacji i postradiacyjnego utleniania pozwalają wyciągnąć wniosek, że za ich przebieg odpowiadają zarówno przeniesienie dziury (pierwotnego produktu jonizacji), jak i w ograniczony sposób inne zjawiska, opisywane najczęściej jako przeniesienie wolnego rodnika [20]. Zjawiska ochronne ograniczające odrywanie wodoru można również tłumaczyć przeniesieniem energii stanów wzbudzonych łańcucha polipropylenu w pobliżu związków o charakterze aromatycznym. Trudno jednak jednoznacznie stwierdzić, czy rozpraszana przez aromat energia pochodzi z tych właśnie stanów wzbudzonych, czy też jest wynikiem reakcji aromatycznego kationorodnika z elektronem.

Charakterystyczne dla zjawisk ochronnych, odbiegające od addytywności krzywe zależności wydajności produktów radiolizy od zawartości aromatów pozwalają oszacować liczbę merów aromatycznych potrzebnych do praktycznego zatrzymania degradacji polipropylenu w obrębie gniazd jednojonizacyjnych. Wysoka wartość tego parametru sugeruje, że działanie ochronne ma charakter przestrzenny i dotyczyć może nawet kilku łańcuchów polimeru. Wzrost tego wskaźnika dla procesów postradiacyjnego utleniania jeszcze raz dowodzi, że związki aromatyczne działają ochronnie nie tylko na etapie produktów jonowych, ale przerywają łańcuchową reakcję utleniania prowadzącą do degradacji polimeru.

Wykazano znaczny wpływ stopnia kontaktu PP z dodatkiem aromatycznym na zjawiska ochronne. Ma to szczególne znaczenie na etapie pierwotnych procesów jonowych decydujących o powstaniu centrów makrorodnikowych.

Zauważono, że zużycie klasycznych stabilizatorów w procesie radiolizy jest związane w zdecydowanej części z ich reakcjami z matrycą. Tak więc stwierdzany za pomocą chromatografii cieczowej niekiedy bardzo duży ubytek antyutleniaczy nie musi oznaczać obniżenia odporności materiału na działanie czynników zewnętrznych. Zwiększa się, co prawda, wrażliwość polimeru na działanie np. światła, ale jednocześnie znacznie wzrasta prawdopodobieństwo przeniesienia i rozproszenia energii na centrum aromatycznym.

Od strony eksperymentalnej potwierdzono duże zalety metody DRS w badaniach procesów utleniania powierzchni polimerów. Z tego punktu widzenia jest ona dużo bardziej czuła od powszechnie stosowanych metod FTIR (spektroskopia fourierowska w podczerwieni).

Można wyrazić opinię, że wykazana przez wyniki eksperymentalne słuszność teorii ochronnego działania związków aromatycznych w procesach radiolizy polimerów może zweryfikować wiele dotychczasowych prac, w których aspekt ten nie był zupełnie brany pod uwagę. Porównanie efektów ochronnych na etapie tworzenia makrorodników w wyniku oderwania atomu wodoru z efektami ograniczenia postradiacyjnego utleniania sugeruje, że ten pierwszy etap jest równie istotny.

Zasięg ochronny w zależności od sposobu otrzymania mieszanin oszacowano na 14 do 28 merów.

Zjawiska ochronne związków aromatycznych dotyczą ogólnie reakcji wolnorodnikowych badanych również w radiobiologii i ochronie radiologicznej. Zwykle uważa się, że zmniejszenie liczby rodników związane jest z ich zmiataniem przez antyutleniacze. Nie podkreśla się, że w znakomitej większości są to związki aromatyczne. Głównym celem pracy było na przykładzie PP wykazanie roli pierwotnych procesów jonowych w przeniesieniu energii od gniazda jonizacji do związku aromatycznego. Tak więc efekt ochronny można uzyskać, nim nastąpi np. nieodwracalne oderwanie atomu wodoru (powstanie wolnego rodnika). Udaje się wówczas ograniczyć przyczyny działania promieniowania jonizującego, a nie skutki. Zwrócono również uwagę na rolę gniazd wielojonizacyjnych w radiolizie polimerów naturalnych i syntetycznych. Działanie ochronne jest tu również możliwe, ale znacznie ograniczone. Przykładem jest polistyren, używany jako izolacja cieplna w kalorymetrach grafitowych (dozymetrach dużych dawek). Teoretycznie powinien być jako związek aromatyczny idealnie odporny radiacyjnie. Rozprasza on energię promieniowania jonizującego, co objawia się świeceniem pod wiązką elektronów. Jednak na skutek kumulowania się efektów działania gniazd wielojonizacyjnych po pewnym czasie ulega degradacji. Związkami aromatycznymi jest również większość antyutleniaczy polecanych w diecie i kosmetykach. Ich działanie może polegać na przeniesieniu energii w procesach metabolizmu, a nie jak się powszechnie uważa zmiataniu wolnych rodników [21].

Notka o autorze

Dr inż. Wojciech Głuszewski – adiunkt w Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Chemik radiacyjny. Specjalista w zakresie radiacyjnej modyfikacji polimerów.

Literatura

- Freeman G.R., 1960, Journal of Chemical Physics 33, 71, Radiolysis of Cyclohexane. I. Pure liquid cyclohexane and cyclohexane – benzene solution.
- Zuchowska D., 1995, *Polimery konstrukcyjne*, WNT Warszawa.
- Zamotaev P., Shibrin E., Nogellova Z., (1995), Polymer Degradation and Stability 47, 93; Photocrosslinking of polypropylene: the effect of different photo-initiators and coagents.
- Głuszewski W., 2019, *The use of gas chromatography for the determination of radiolytic molecular hydrogen, the detachment of which initiates secondary phenomena in the radiation modification of polymers*, Polimery, 64, 10, s. 44–49.
- Głuszewski W., 2018, *Radioliza w składowiskach odpadów promieniotwórczych*, Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki, 109, 1, s. 9–15.
- Zagórski Z.P., 2002, Radiation Physics and Chemistry, 63, 9; Modification, degradation and stabilization of polymers in view of the classification of radiation spurs.
- Mishra R., Tripathy S.P., Sinha D., Dwivedi K.K., Gfosh S., Khathing D.T., Muler M., Fink D., Chung W.H., 2000, Nuclear Instruments and Methods Physics Research B 168, 59; Optical and electrical properties of some electron and proton irradiated polymers.
- Bojarski J., Zimek Z., *The specially modified polypropylene for medical use has been worked out at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology*, Warsaw (Patent no. P-295304).
- Bojarski J., Zimek Z., *Polipropylen modyfikowany odporny radiacyjnie*, materiały IV Szkoły Sterylizacji Radiacyjnej Sprzętu Medycznego, Przeszczepów, Farmaceutyków i Kosmetyków, Warszawa, 7 stron.
- Bojarski J., Bulhak Z., Burlinska G., Kaluska I., Zimek Z., Szwojnicka D., 1995, *Medical quality of the radiation resistant polypropylene*, Radiation Physics and Chemistry, Volume 46, Issues 4–6, Part 1.
- Zimek Z., Przybytniak G., Kaluska I., 2006, *Radiation processing of Polymers and semiconductors at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology*, Nukleonika, Supplement 1, S129–S132.
- Przybytniak G., Mirkowski K., Rafalski A., Nowicki A., Legocka I., Zimek Z., 2005, *Effect of hindered amine light stabilizers on the resistance of polypropylene towards ionizing radiation*, Nukleonika, 50(4), s. 153–159.
- Ahmed S., Ruimin Z., 1999, Stability and stabilization of polymers under irradiation, Raport IAEA – TECDOC – 1062, 129; Development of formulations of polyethylene – based flame retardant, radiation resistant wires and radiation – compatible polypropylene.
- Ahmed S., Yasin T., Ghaffar A., 2003, Radiation Physics and Chemistry 68, 925; Influence of gamma radiation on hindered phenols in LDPE, paraffin oil and paraffin wax.
- Alariqi S.A.S., Pratheep Kumar A., Rao B.S.M., Singh R.P., 2007, Polymer Degradation and Stability 92, 299; Stabilization of -sterilized biomedical polyolefins by synergetic mixture of oligomeric stabilizers. Part II. Polypropylene matrix.
- Głuszewski W., 2021, *GC investigation of post irradiation oxidation phenomena on polypropylene*, Nukleonika, 66(4), s. 187–92.
- Głuszewski W., 2008, *Zjawiska ochronne w chemii radiacyjnej polipropylenu*. Praca doktorska, IChTJ.
- Głuszewski W., 2018, *Postradiacyjna oksydegradacja polimerów*, Tworzywa Sztuczne w Przemśle, 3, s. 102–104.
- Mayer J., Szreder T., 2002, Radiation Physics and Chemistry, 63, 161; Electron transfer in pulse irradiation polypropylene film containing irganox type antioxidant.
- Szreder T., 2001, *Procesy przeniesienia ładunku i energii w polipropylenie*. Praca doktorska, Politechnika Łódzka – MITR.
- Koide K., Sami Osman S., Amanda L., Garner A.L., 2011, ACS Medicinal Chemistry Letters, 2, 270–274, The Use of 3,5,40-Tri-O-acetylsresveratrol as a Potential Prodrug for Resveratrol Protects Mice from -Irradiation-Induced Death.

Kompetencje w urzędzie dozoru jądrowego

Competences in the nuclear regulatory body

Alicja Krajenta-Kopeć
Państwowa Agencja Atomistyki

Streszczenie: Kompetencje są niezwykle ważnym elementem osiągnięcia i utrzymania wysokiego poziomu kwalifikacji personelu pracującego w urzędzie dozoru jądrowego. Skuteczne przeszkolenie i zapewnienie wysokiego poziomu kwalifikacji personelu jest niezbędne do osiągnięcia wysokich standardów bezpieczeństwa i zapewnienia sprawności działania urzędu dozoru jądrowego. Kompleksowe podejście do szkoleń i kwalifikacji jest kluczową cechą zintegrowanych systemów zarządzania organizacjami, zwłaszcza organizacjami o wyjątkowych kompetencjach, takimi jak urząd dozoru.

Podstawą identyfikacji i utrzymania wysokiej jakości unikalnych kompetencji oraz utrzymywania kwalifikacji wszystkich, zwłaszcza merytorycznych, pracowników dozoru jądrowego jest stosowanie systemowego podejścia do szkolenia [SAT]. Skuteczność SAT została udowodniona w przemyśle jądrowym i innych gałęziach przemysłu o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa i jest uznawana za najlepszą międzynarodową praktykę w zakresie budowania kompetencji niezbędnych w działaniu dozoru jądrowego.

Słowa kluczowe: Kompetencje, zasoby ludzkie, urząd dozoru jądrowego.

Abstract: Competences are an extremely important element to achieve and maintain a high level of qualifications of the personnel working in the nuclear regulatory body. Effective training and ensuring a high level of qualifications of the staff are necessary to achieve high safety standards and ensure the efficiency of the regulatory body. A comprehensive approach to training and qualifications is a key feature of integrated organization management systems, especially organizations with unique competences such as regulatory body.

The basis for identifying and maintaining the high quality of unique competences and maintaining the qualifications of all, especially the substantive, categories of nuclear regulatory personnel is the use of a systematic approach to training [SAT]. The effectiveness of the SAT has been proven in the nuclear and other safety-critical industries and is recognized as the best international practice in training competencies necessary in nuclear regulatory matters.

Keywords: Competence, competency, human resources, regulatory body.

Pojęcie kompetencji jest bardzo ściśle powiązane z efektami działania organizacji i integruje, oprócz wiedzy i kwalifikacji, również motywację, zaangażowanie, postawę oraz zachowanie pracowników. Takie szerokie ujęcie kompetencji wynika z interpretacji terminów: amerykańskiego *competency* i brytyjskiego *competence* [1, 2] (tab. 1).

W Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) zapewnienie i utrzymanie wysokiego poziomu kompetencji opiera się na analizie uwzględniającej wymagania wobec zadań wykonywanych na stanowisku pracy oraz kompetencji potrzebnych do ich wykonywania (ang. *job/task/competency analysis*). Takie podejście, zwane w literaturze przedmiotu *modelem kompetencyjnym*, pozwala na realizowanie skutecznej strategii pozyskiwania właściwych pracowników do pracy oraz ich dalszego doskonalenia. Rozwój kompetencji

oparty jest na identyfikacji i niwelowaniu luk kompetencyjnych z zastosowaniem Indywidualnych programów rozwoju zawodowego (IPRZ).

W PAA przez termin **kompetencje** rozumie się wzajemne powiązanie: wiedzy (ang. *knowledge*), umiejętności

Tabela 1. Kompetencje według znaczenia terminów *competence* i *competency* i zależności między nimi (źródło [1]).

Table 1. Competences or Competencies (according to meaning of term) and dependencies between them (source [1]).

Competence	Competency
Oparte na umiejętnościach (tzw. twarde umiejętności)	Oparte na zachowaniach (tzw. miękkie umiejętności)
Osiągane standardy (co jest mierzone)	Sposób zachowania (jak standardy są osiągnięte)

(ang. *skills*) i postaw (ang. *attitude*) – (KSA) [4], które są potrzebne do wykonania określonych zadań, a zwłaszcza zadań merytorycznych, wynikających z pełnienia przez PAA funkcji urzędu dozoru jądrowego, przy czym:

- **wiedza** oznacza ogół informacji przyswojonych przez pracownika wraz z umiejętnością ich wykorzystywania z uwzględnieniem zmian w otoczeniu,
- **umiejętności** to zdolność wykonywania zadań stosownie do wymagań i zgodnie z oczekiwaniami przełożonego,
- **postawa** to podejmowanie określonych działań zapewniających wykonanie zadania z należytą rzetelnością i starannością.

Jednakże tak zdefiniowanych **kompetencji** w PAA nie utożsamia się tylko z opisem wymagań potrzebnych do wykonania zadań na stanowisku pracy (opis stanowiska pracy) lub z zakresem zadań (indywidualna karta pracy)¹. Termin **kompetencje** jest rozumiany szerzej, również jako cechy osobowościowe oraz zachowania pracownika w odniesieniu do działalności wykonywanej na tym stanowisku pracy czy określonych zadań.

Model kompetencyjny systematyzuje kompetencje, jakie powinni posiadać pracownicy urzędu dozoru jądrowego, w czterech kategoriach (z uwzględnieniem KSA):

- K1. Podstawy prawne i procedury dozоровe.
- K2. Dyscypliny techniczne.
- K3. Dozоровe praktyki postępowania.
- K4. Efektywność pracy indywidualnej i w zespołach.

Gdzie:

K1. Podstawy prawne i procedury dozоровe (organizacja dozoru) – dotyczą znajomości aktów prawnych i przepisów wykonawczych regulujących działalność dozoru jądrowego, jego statutu i regulaminu organizacyjnego oraz procedur i instrukcji postępowania, wytycznych dozоровych, dokumentacji związanej z wydawaniem zezwoleń i nadawaniem uprawnień, procedur postępowania administracyjnego, w szczególności związanych z egzekwowaniem i stosowaniem sankcji.

K2. Dyscypliny techniczne obejmują znajomość podstaw o nadzorowanych technologiach, ich praktycznym zastosowaniu oraz dziedzinach specjalistycznych.

K3. Dozоровe praktyki postępowania dotyczą znajomości technik prowadzenia analiz bezpieczeństwa, przeprowadzania inspekcji, audytów i działań w trybie postępowania administracyjnego.

K4. Efektywność pracy indywidualnej i w zespołach odnosi się do zagadnień analitycznego myślenia, rozwiązywania problemów i podejmowania decyzji, umiejętności komunikowania się, efektywności pracy indywidualnej i zespołowej oraz zarządzania.

Zakresy kompetencji wymagane do realizacji i pełnienia głównych (merytorycznych) funkcji dozоровych, tj. **auto-ryzacji, przeglądu i oceny bezpieczeństwa, inspekcji, kontroli i egzekwowania wymagań oraz opracowywa-**

nia i ustalania przepisów i wytycznych w zakresie dozoru przedstawiono w tabeli 2.

Oprócz kompetencji wymaganych do realizacji głównych funkcji dozоровych przedstawionych w tabeli 2, w dozorroze jądrowym potrzebne są kompetencje do realizacji pomocniczych funkcji dozоровych. Zakresy tych funkcji, tj. **przygotowanie i reagowanie na zdarzenia radiacyjne, współpraca międzynarodowa oraz badania i rozwój (B+R)**, prezentuje tabela 3.

Zapewnienie odpowiedniego poziomu kompetencji w zakresie obu funkcji musi być osiągnięte na poszczególnych stanowiskach pracy poprzez właściwe pozyskiwanie pracowników (planowanie, rekrutację, dobór i wprowadzenie do pracy), określenie polityki wykorzystania wsparcia zewnętrznego, wyznaczenie systemu uzyskiwania uprawnień oraz realizowanie kompleksowego podejścia do szkoleń.

1. Etapy przygotowywania kompleksowego programu szkoleń w PAA w latach 2015–2017

Państwowa Agencja Atomistyki adekwatnie do realizowanych wymagań i zaleceń MAEA, w myśl promowanej w organizacji kultury bezpieczeństwa, dokładała i nadal dokłada wszelkich starań, aby wyposażyć pracowników urzędu dozoru jądrowego we wszystkie kompetencje niezbędne do jak najlepszego wykonywania powierzonych im zadań oraz aby w sposób systematyczny i kompleksowy doskonalić, rozwijać i utrzymać kompetencje pracowników PAA na jak najwyższym poziomie.

W związku z tym rozpoczęto już w 2013 roku prace mające na celu opracowanie kompleksowej strategii identyfikowania luk kompetencyjnych, dzięki czemu możliwe było wypracowanie kompleksowej strategii szkoleniowej, zgodnie z metodologią *Systematic Approach to Training (SAT)*. W tym celu przyjęto dziewięć etapów jego realizacji (rys. 1).

Zaproponowany projekt IPRZ, oparty na sporządzonych bilansach kompetencyjnych, wówczas nie zastąpił poprzednio stosowanego IPRZ, jednak pozostałe działania zrealizowano adekwatnie do podjętych działań rozwojowych.

2. Realizacja kompleksowego programu szkoleń PAA w latach 2015–2017

W latach 2015–2017 w strukturze organizacyjnej PAA funkcjonowało 7 departamentów, w tym: 3 pełniące funkcje dozоровe (Departament Bezpieczeństwa Jądrowego, Departament Ochrony Radiologicznej oraz Centrum do

¹ Od 2020 roku nie są praktykowane w Państwowej Agencji Atomistyki.

Tabela 2. Zakresy kompetencji wymagane do realizacji głównych funkcji dozorowych (źródło [5]).**Table 2.** *Scopes of competence required to perform the main regulatory functions (source [5]).*

Zakresy kompetencji wymagane do realizacji głównych funkcji dozorowych	Autoryzacja	Przeгляд i ocena bezpieczeństwa	Kontrola i egzekwowanie wymagań	Opracowywanie przepisów i wytycznych dozorowych
K1. Podstawy prawne i procedury dozorowe				
1.1 Podstawy prawne	X		X	X
1.2 Procedury dozorowe	X	X	X	X
1.3 Przepisy i wytyczne	X	X	X	X
1.4 Autoryzacja, dokumenty	X	X	X	X
1.5 Egzekwowanie	X		X	
K2. Dyscypliny techniczne				
2.1 Podstawy technologii	X	X	X	X
2.2 Zastosowania		X	X	
2.3 Dziedziny specjalistyczne		X		
K3. Dozorowe praktyki postępowania				
3.1 Techniki analiz bezpieczeństwa	X	X	X	X
3.2 Techniki inspekcji			X	
3.3 Techniki audytów			X	
3.4 Techniki postępowania administracyjnego			X	
K4. Efektywność indywidualna i w zespołach				
4.1 Analizowanie, decyzje	X	X	X	
4.2 Efektywność osobista	X	X	X	X
4.3 Komunikowanie się	X		X	X
4.4 Praca zespołowa	X	X	X	X
4.5 Zarządzanie	X			

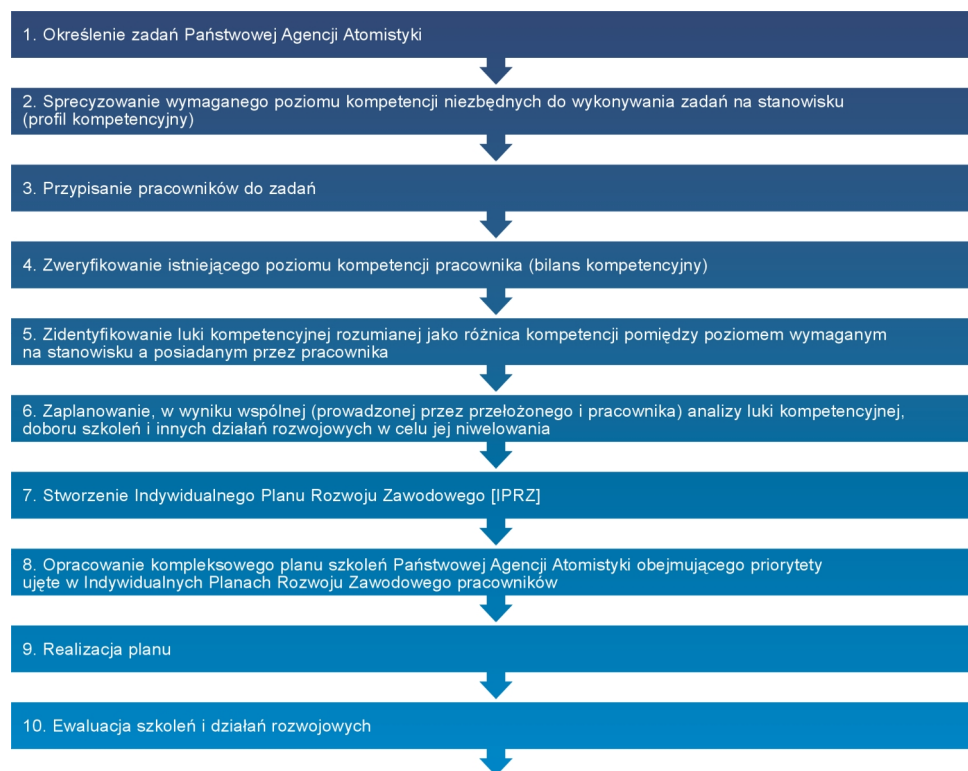
**Rys. 1.** Etapy przygotowywania Kompleksowego Programu Szkoleń PAA: działania w latach 2015–2017 (źródło [6]).**Fig. 1.** *Stages of preparation of the PAA Comprehensive Training Program in 2015–2017 (source [6]).*

Tabela 3. Zakresy kompetencji wymagane do realizacji pomocniczych funkcji dozorowych (źródło [5]).**Table 3.** *Scopes of competences required to perform auxiliary regulatory functions (source [5]).*

Zakresy kompetencji wymagane do realizacji pomocniczych funkcji dozorowych	Przygotowanie i reagowanie na zdarzenia radiacyjne	Współpraca międzynarodowa	Badania i rozwój
K1. Podstawy prawne i procedury dozorowe			
1.1 Podstawy prawne	X	X	
1.2 Procedury dozorowe		X	
1.3 Przepisy i wytyczne	X	X	
1.4 Autoryzacja, dokumenty	X	X	
1.5 Egzekwowanie			
K2. Dyscypliny techniczne			
2.1 Podstawy technologii	X	X	X
2.2 Zastosowania	X	X	X
2.3 Dziedziny specjalistyczne			
K3. Dozorowe praktyki postępowania			
3.1 Techniki analiz bezpieczeństwa		X	X
3.2 Techniki inspekcji		X	
3.3 Techniki audytów		X	
3.4 Techniki postępowania administracyjnego		X	
K4. Efektywność indywidualna i w zespołach			
4.1 Analizowanie, decyzje	X	X	X
4.2 Efektywność osobista	X	X	X
4.3 Komunikowanie się	X	X	
4.4 Praca zespołowa	X	X	X
4.5 Zarządzanie		X	

Spraw Zdarzeń Radiacyjnych) i 4 pomocnicze (Gabinet Prezesa, Biuro Dyrektora Generalnego, Departament Prawny oraz Departament Ekonomiczno-Budżetowy)².

Ze względu na przyjęte priorytety i merytorycznie niezwykle istotne znaczenie dla efektywnego funkcjonowania PAA, dla pracowników wyżej wymienionych trzech departamentów, które pełnią główne funkcje dozorowe, zostały w pierwszej kolejności, po zakończeniu etapu sporządzania bilansu kompetencyjnego, ustalone luki kompetencyjne i sformułowane dla nich kompleksowe działania rozwojowe.

W ramach implementacji kompleksowego podejścia do szkoleń w latach 2015–2017 w PAA zrealizowano następujące działania:

1. Opracowano spójny Kompleksowy Program Szkoleń PAA, oparty na aktualnej wiedzy z zakresu zarządzania zasobami ludzkimi oraz dobrych praktykach i wytycznych (m.in.: raportach [4] i standardach bezpieczeństwa [7,

8, 9]) oraz wielu innych dokumentach na bieżąco wydawanych i aktualizowanych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA).

2. Zaadaptowano i dostosowano do potrzeb PAA zalecaną przez MAEA metodologię SARCoN – *Systematic Assessment of Regulatory Competence Needs*, gdzie kompetencje PAA zostały pogrupowane w cztery tzw. kwadranty:

K1: Kompetencje w zakresie podstaw prawa i organizacji dozoru (podstawy prawne, polityki dozorowe, regulacje i zalecenia dozorowe, zintegrowany system zarządzania m.in. z kompetencjami odnoszącymi się do kultury bezpieczeństwa – *safety culture*).

K2: Kompetencje w zakresie dyscyplin technicznych (podstaw: nauki ścisłe i przyrodnicze, zastosowań: nauki stosowane oraz technologie, dziedzin specjalistycznych: np. technologie reaktorowe).

K3: Kompetencje w zakresie praktyki działania organu dozorowego (m.in. kompetencje w zakresie przeglądu

² Obecnie funkcjonuje 6 departamentów, w tym 3 pełniące funkcje dozorowe (Departament Bezpieczeństwa Jądrowego, Departament Ochrony Radiologicznej oraz Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych) i 3 pomocnicze (Biuro Polityk Strategicznych i Współpracy Międzynarodowej, Departament Budżetowo-Organizacyjny, Departament Prawny).

i oceny dokumentacji, wydawania zezwoleń, przeprowadzania kontroli, egzekwowania zaleceń oraz opracowywania regulacji i zaleceń).

K4: Kompetencje osobowe i behawioralne (skuteczność osobista, komunikacja, praca zespołowa, kompetencje przywódcze).

3. Zidentyfikowano i zakończono prace nad doбором odpowiednich szkoleń i innych działań rozwojowych oraz ustalono priorytety kolejności ich realizacji w celu zniwelowania tzw. luki kompetencyjnej.

4. Specyfika zadań pracowników trzech departamentów dozorowych, zgodnie z zalecaną przez MAEA SAT (ang. *Systematic Approach to Training*), spowodowała konieczność skorzystania z zagranicznych doświadczeń. Państwowa Agencja Atomistyki systematycznie w tym zakresie podejmowała i nadal podejmuje międzynarodowe działania inwestowania w jej kompetentny kapitał ludzki poprzez:

- treningi stanowiskowe (staże szkoleniowe – OJT – *On the Job Trainings*);
- wizyty studyjne;
- udział w międzynarodowych misjach przeglądowych i grupach roboczych.

Inne, głównie krajowe działania PAA:

- szkolenia i warsztaty wewnętrzne i zewnętrzne; otwarte i zamknięte, indywidualne i grupowe;
- specjalistyczne kursy merytoryczne (np. kursy dla inspektorów ochrony radiologicznej, kurs dla kandydatów na doradcę ADR);
- specjalistyczne kursy językowe (np. specjalistyczny kurs języka francuskiego dla początkujących na potrzeby Polskiego programu energetyki jądrowej – PPEJ);
- programy stażowo-szkoleniowe w ramach zdobywania uprawnień inspektorów dozoru jądrowego;
- studia (np. *Budownictwo, Bezpieczeństwo Narodowe*);
- studia podyplomowe (np. *Energetyka jądrowa, Automatyka, Eksploatacja elektrowni, Projektowanie geotechniczne, Zarządzanie i audyt*);
- e-learning.

We wszystkie etapy procesu kompleksowego programu szkoleń zostali włączeni pracownicy merytoryczni, którzy pełnią główne funkcje dozorowe, co sprawia, że PAA nie tylko efektywnie realizuje **politykę jakości** wykonywanych zadań, ale skutecznie buduje unikatową dla niej kulturę organizacyjną: **kulturę bezpieczeństwa** (ang. *safety culture*).

3. Metodologia kompleksowego programu szkoleń w PAA

Kompleksowy program szkoleń PAA, zgodnie z wytycznymi MAEA, zintegrował klasyczne ujęcie modelu zarządzania kompetencjami i narzędzie SARCoN (ang. *Systematic Assessment of Regulatory Competence Needs*),

uwzględniając specyfikę urzędu dozoru jądrowego, wymagania służby cywilnej oraz wdrażanie i rozwijanie kultury bezpieczeństwa (ang. *safety culture*).

W szczególności uwzględnione zostały:

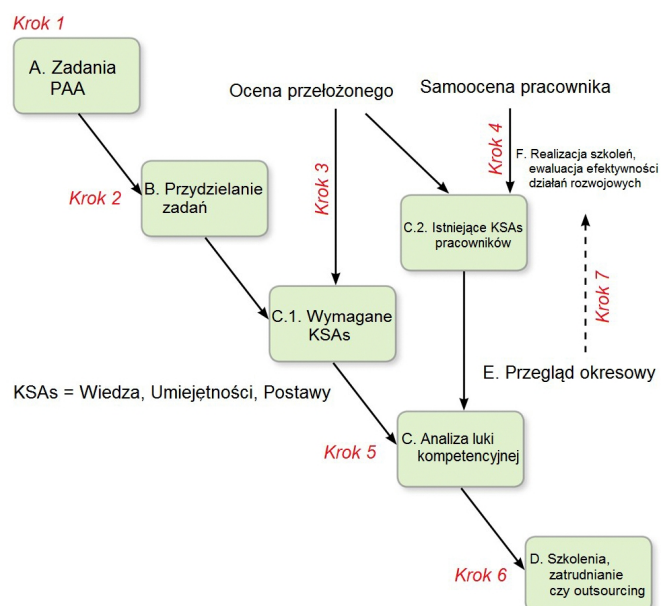
- wytyczne i zalecenia MAEA, w tym standardy kultury bezpieczeństwa,
- najlepsze praktyki organów dozoru jądrowego na świecie,
- wymagania ustaw o służbie cywilnej oraz rekomendacje Szefa Służby Cywilnej, jako centralnego organu administracji rządowej.

W przygotowaniu kompleksowego programu szkoleń PAA zastosowano:

- systematyczne podejście do metodologii szkolenia [SAT],
- model systematycznej oceny potrzeb w zakresie kompetencji regulacyjnych [SARCoN],
- systematyczną ocenę luki kompetencyjnej,
- koncepcję „organizacji uczącej się”.

Niwelowanie luk kompetencyjnych i dalsza realizacja kolejnych etapów implementacji kompleksowego programu szkoleń PAA, po jego opracowaniu, zaadaptowaniu i dostosowaniu do potrzeb PAA narzędzia SARCoN, sporządzeniu profili i bilansów kompetencyjnych oraz zidentyfikowaniu luk kompetencyjnych, wymagała przeglądu i rewizji zadań realizowanych przez PAA, a także weryfikacji opisów wymagań kompetencyjnych oraz stworzenia katalogu dostępnych szkoleń i innych działań rozwojowych.

Proces ten przedstawiony jest na rysunku 2 i zostanie opisany według jego kolejnych etapów.



Rys. 2. Wizualizacja procesu identyfikowania luki kompetencyjnej i dalszych działań kompleksowego programu szkoleń PAA (źródło [6]).

Fig. 2. Visualization of the process of identifying the competency gap and further activities of the Comprehensive Training Program of the National Atomic Energy Agency (PAA) (source [6]).

A. Zadania (misja) PAA w latach 2015–2017³

W latach 2015–2017 PAA, podobnie jak obecnie, realizowała misję, polegającą na „*dążeniu, poprzez działania regulacyjne i nadzorcze, do zapewnienia, by działalność mogąca powodować narażenie na promieniowanie jonizujące była prowadzona w sposób bezpieczny dla pracowników i społeczeństwa*”.

PAA w latach 2015–2017 wyznaczyła następujące priorytety swojego działania jako kompetentnego urzędu dozoru jądrowego:

- Stworzenie przestrzeni do **efektywnej współpracy** wszystkich pracowników i realizacji zarówno misji i wizji Państwowej Agencji Atomistyki, jak i Programu polskiej energetyki jądrowej (PPEJ).
- Promowanie **kultury bezpieczeństwa** (*safety culture*) przez wdrażanie nowoczesnych narzędzi wspierających budowanie kultury organizacyjnej.
- Przygotowanie do adaptowania standardów organizacji **uczącej się** (*learning organization*) i budowania **kultury coachingowej** (treningu zachowań i podejmowania decyzji) związanej z otwartą, skuteczną komunikacją oraz konstruktywną informacją zwrotną (polegającą na precyzowaniu zasobów i identyfikowaniu obszarów rozwojowych – map kompetencji), promowaniem kreatywności i efektywnym delegowaniem zadań. Założenia te uwzględniają opracowany na Uniwersytecie w Princeton **model 70/20/10** [10], który oparty jest na badaniach, iż: 70% przyswajanej wiedzy i umiejętności wynika z doświadczenia/działania, 20% z obserwacji, współpracy i informacji zwrotnych od innych pracowników, a 10% z przyswajania wiedzy formalnej.
- **Wykorzystanie Internetu, intranetu** do podnoszenia kwalifikacji z wykorzystaniem *e-learningu*, *blended learningu* i *collaborative blended learningu*⁴, co wspierało proces kaskadowania wiedzy⁵ w PAA.

B. Przydzielanie zadań

PAA w latach 2015–2017 realizowała swoją misję poprzez:

- sprawowanie państwowego dozoru działalności mogących powodować narażenie na promieniowanie jonizujące,
- systematyczną ocenę sytuacji radiacyjnej kraju,
- podejmowanie odpowiednich działań w przypadku powstania zdarzeń radiacyjnych,

- współpracę w celu wypełniania zobowiązań Polski w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej wynikających z traktatów, konwencji oraz umów międzynarodowych,
- dysponując w tym celu:

- adekwatnymi krajowymi i międzynarodowymi instrumentami prawnymi,
- danymi pochodzącymi z prowadzonego monitoringu radiacyjnego,
- uprawnieniami do wydawania zezwoleń, prowadzenia kontroli i ewidencji,
- odpowiednio przygotowaną kadrą inspektorów i innych specjalistów.

W celu zdefiniowania kompetencji niezbędnych do wykonywania zadań urzędu dozoru jądrowego dokonano przeglądu opisu stanowisk pracy na poziomie strategicznym, taktycznym i operacyjnym (adekwatnie: zadania PAA, komórek organizacyjnych i poszczególnych stanowisk pracy) w odniesieniu do trzech grup procesów: głównych, zarządczych i pomocniczych (administracyjnych), ze szczególnym uwzględnieniem wyzwań Programu polskiej energetyki jądrowej.

C.1. Wymagane kompetencje

Istotnym elementem określenia wymaganych kompetencji PAA, jako urzędu dozoru jądrowego, była adaptacja do jej potrzeb zalecanej przez MAEA metodologii **SARCoN** – *Systematic Assessment of Regulatory Competence Needs*. Przetłumaczono na język polski i zweryfikowano 18 obszarów kompetencji, które pogrupowano, jak w oryginalnej metodologii MAEA, w cztery tzw. kwadranty (rys. 3):

K1: Kompetencje w zakresie podstaw prawa i organizacji dozoru.

K2: Kompetencje w zakresie dyscyplin technicznych.

K3: Kompetencje w zakresie praktyki działania organu dozoru.

K4: Kompetencje osobowe i behawioralne.

Zaimplementowana metodologia SARCoN uwzględnia podział kompetencji PAA (patrz tabela 1) na:

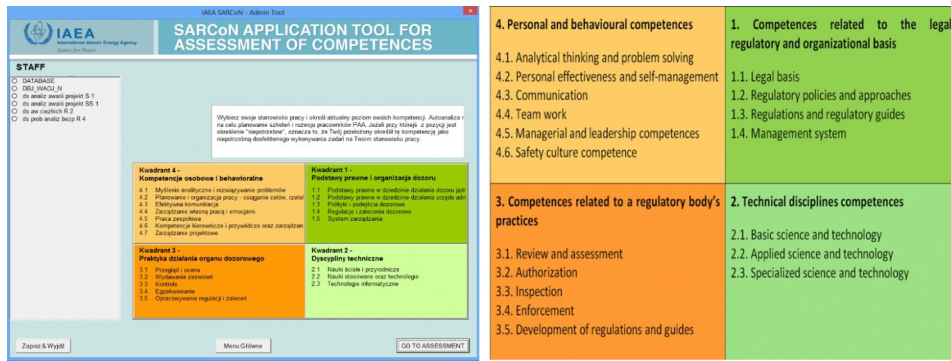
- twarde (funkcjonalne – ang. *competence*), które polegają na opisie wymagań związanych ze stanowiskiem pracy, czyli tego, co pracownicy muszą potrafić, aby ich praca była skuteczna; są to kompetencje specjalistyczne,

³ Zakończyły się konsultacje publiczne do projektu *Strategii i polityki w zakresie rozwoju bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej* Rzeczypospolitej Polskiej. To pierwszy tego rodzaju dokument w Polsce. Dokument określa najważniejsze cele i kierunki działań, a także przedstawia opis aktualnego stanu oraz zasady bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Głównym celem Strategii jest zapewnienie ochrony ludzi i środowiska naturalnego przed szkodliwymi skutkami działania promieniowania jonizującego oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej Rzeczypospolitej Polskiej.

Obowiązek opracowania tego dokumentu wynika z art. 39p ust. 1 ustawy – Prawo atomowe (Dz.U. z 2021 r. poz. 1941), zgodnie z którym minister właściwy do spraw klimatu opracowuje tę strategię, nie rzadziej niż co 10 lat, uwzględniając założenia długookresowej i średniookresowej strategii rozwoju kraju <https://www.gov.pl/web/paa/strategie-plany-programy>, dostępny od 03.01.2022 r.

⁴ *blended learning* – integracja różnych narzędzi i metod kształcenia w jednym programie szkolenia – np. połączenie szkolenia online i różnych form szkolenia bezpośredniego (wykorzystanie przy tym interakcji między studentami w procesie szkolenia zespołowego określane jest mianem *collaborative blended learning*; *przyj. red.*).

⁵ Proces kaskadowania wiedzy polega na wielostopniowym uczeniu zespołowym (dzieleniu się wiedzą i informacjami np. pomiędzy przełożonymi a podwładnymi na wszystkich szczeblach organizacji – *przyj. red.*).



Rys. 3. Ocena kompetencji PAA za pomocą SARCoN (źródło [6, 11]).
 Fig. 3. Assessment of PAA competencies by SARCoN use (source [6, 11]).

profesjonalne, fachowe z przewagą aspektów związanych z wiedzą i umiejętnościami merytorycznymi – kwadranty 1–3;

- miękkie (behawioralne – ang. *competency*) polegające na określeniu wzorcowych zachowań i zdolności do ich realizacji; są to kompetencje interpersonalne, osobowe, gdzie przeważają postawy i zachowania – kwadrant 4.

- Poziom średni, który identyfikuje dobre zrozumienie przedmiotu, wystarczające dla sytuacji rutynowych.
- Poziom wysoki: oznacza kompetencje niezbędne w złożonych sytuacjach lub na poziomie strategicznym w ramach działania organu dozoru, które pozwalają szkolić lub otoczyć opieką merytoryczną inne osoby w danej dziedzinie.

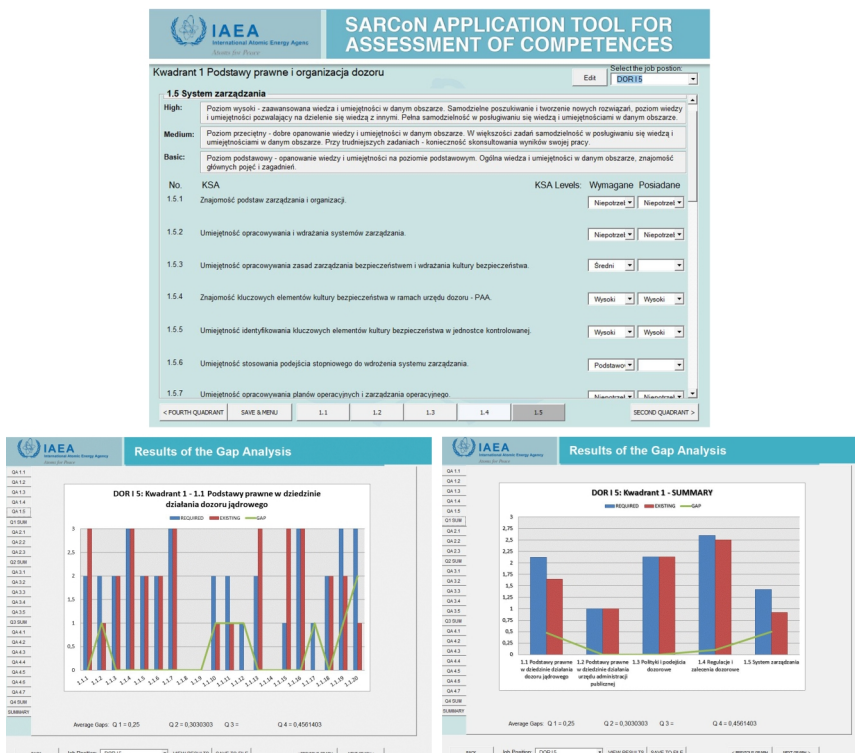
C.2. Istniejące kompetencje pracowników

W SARCoN dostępne są 3 poziomy oceny posiadanych przez pracowników PAA kompetencji – podstawowy (*basic*), średni (*medium*) i wysoki (*high*) oraz występuje kategoria: nie ma zastosowania (*N/A – non applicable*).

- Poziom podstawowy oznacza ogólne kompetencje w danym obszarze.

C3. Analiza luki kompetencyjnej

W wyniku porównania istniejącego i wymaganego poziomu kompetencji możliwe było zidentyfikowanie luki kompetencyjnej (rys. 4; legenda: kolor niebieski – poziom wymagany, kolor czerwony – poziom istniejący. Zielona linia – wielkość luki kompetencyjnej).



Rys. 4. Ocena wymaganego i istniejącego poziomu kompetencji na danym stanowisku pracy oraz efekt porównania między poziomem oczekiwanym i istniejącym – luka kompetencyjna (źródło [6, 11]).

Fig. 4. Assessment of the required and existing level of competencies at job position and the effect of comparison between the expected and existing level – competency gap (source [6, 11]).

staży szkoleniowych (ang. *On the Job Trainings*, OJT), składanych do akceptacji przez: 1. kierującego komórką organizacyjną, 2. pracownika do spraw rozwoju zawodowego, sporządzającego profil kompetencyjny, oraz 3. Prezesa PAA (rys. 8).

Rys. 8. Przykładowy program szkoleniowy w ramach staży szkoleniowych *On the Job Training*, OJT (źródło [6]).

Fig. 8. Sample training program as part of the *On the Job Training OJT training internship* (source [6]).

Zidentyfikowanie luk szkoleniowych, zwłaszcza w przypadku długookresowych (2, 3 lub 6-miesięcznych) zagranicznych szkoleń stanowiskowych (*On the Job Training – OJT*) pozwala na ocenienie indywidualnych potrzeb szkoleniowych i wykorzystanie jako podstawowego narzędzia oceny niezbywalności oraz koniecznego zakresu tych szkoleń.

4. Podsumowanie

W latach 2015–2017 sporządzono indywidualne bilanse kompetencyjne dla 76 pracowników PAA bezpośrednio włączonych w wykonywanie głównych funkcji dozоровych⁷, w tym dla 37 pracowników związanych z realizacją zadań na rzecz Programu polskiej energetyki jądrowej [12].

Z grupy osób realizujących zadania w ramach PPEJ 11 osób wzięło udział w zagranicznych stażach szkoleniowych OJT.

Efekty implementacji metodologii *Systematic Assessment of Regulatory Competence Needs for Regulatory Bodies of Nuclear Facilities SARCoN* Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, służącej do analizy kompetencji (tworzenia bilansów kompetencyjnych i analizy luk kompetencyjnych) zaprezentowano na zorganizowanych przez PAA we współpracy z MAEA warsztatach *Regional workshop on the assessment of regulatory competence need for regulating nuclear safety (SARCoN Seminars)*, które odbyły się w Warszawie w dniach 14–18 listopada



Fot. 1. Regional workshop on the assessment of regulatory competence need for regulating nuclear safety (*SARCoN Seminars*), Warszawa, 14–18.11.2016 (źródło [6]).

Photo 1. Regional workshop on the assessment of regulatory competence need for regulating nuclear safety (*SARCoN Seminars*), Warsaw, November 14–18, 2016 (source [6]).

2016 roku. W warsztatach wzięło udział 23 uczestników (3 przedstawicieli MAEA: R. Revuelta, E. Maman, M. Zimmermann – autor SARCoN, 14 osób z europejskich urzędów dozoru jądrowego oraz 5 przedstawicieli PAA (fot. 1).

W *Regional workshop on the assessment of regulatory competence need for regulating nuclear safety (SARCoN Seminars)*, Warszawa, 14–18.11.2016 autorka artykułu pełniła funkcję *Workshop Coordinator* (rys. 9).

Rys. 9. List gratulacyjny za realizację *Regional workshop on the assessment of regulatory competence need for regulating nuclear safety (SARCoN Seminars)*, Warszawa, 14–18.11.2016 (źródło [6]).

Fig. 9. Congratulatory letter for the implementation of the *Regional workshop on the assessment of regulatory competence need for regulating nuclear safety (SARCoN Seminars)*, Warsaw, November 14–18, 2016. (source [6]).

⁷ Obwieszczenie Ministra Energii z dnia 18 stycznia 2017 r. w sprawie ogłoszenia sprawozdania z realizacji Programu polskiej energetyki jądrowej za lata 2014–2015.

Zamysłem PAA jest wykorzystywanie zalecanych przez MAEA narzędzi oceny luk kompetencyjnych (takich jak SARCoN wdrożony w PAA w latach 2015–2017) do utrzymania wysokiego poziomu kompetencji kadr na potrzeby zadań związanych z realizacją PPEJ, m.in. wykształcenie odpowiednich kompetencji państwowego dozoru jądrowego jako fachowego i profesjonalnego urzędu, co pozwala podtrzymać opinię międzynarodowych ekspertów misji *Integrated Regulatory Review Service (IRRS)*, iż PAA jest urzędem dobrze przygotowanym do pełnienia funkcji dozoru jądrowego.

Notka o autorze

Dr Alicja Krajenta-Kopec – Główny Specjalista do spraw Rozwoju Zawodowego w Państwowej Agencji Atomistyki, wykładowca przedmiotu *Zarządzanie Strategiczne*, Politechnika Warszawska (email: alicja.kopec@paa.gov.pl).

Literatura

1. Armstrong M., 2006, *A Handbook of Personnel Management Practice*, Kogan Page, London and Philadelphia, s. 167.
2. Armstrong M., 2007, *Zarządzanie zasobami ludzkimi*, Oficyna, Kraków, s. 152–154.
3. Brophy M., Kiely T., 2002, *Competencies: A New Sector*, “Journal of European Industrial Training”, vol. 26, nr 2/3/4, s. 165–176.
4. IAEA Safety Report Series N°79., 2013, *Managing Regulatory Body Competence*.
5. Jurkowski M., 2017, *Szkolenie i weryfikacja kompetencji w zapewnianiu bezpieczeństwa*, Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna – Biuletyn informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki nr 4(110), s. 11–23.
6. Materiały wewnętrzne Państwowej Agencji Atomistyki.
7. IAEA Safety Standard GSR Part 1 (Rev. 1), 2016, *Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety*.
8. IAEA Safety Standard SSG 16 (Rev. 1), 2020, *Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme*.
9. IAEA Safety Standard SF 1, 2006, *Fundamental Safety Principles (Section 3.10)*.
10. Lombardo M., Eichinger R., 1996, *The Career Architect Development Planner (1st edition.)*. Minneapolis: Lominger. p. iv. ISBN 0-9655712-1-1.
11. *Systematic Assessment of Regulatory Competence Needs for Regulatory Bodies of Nuclear Facilities SARCoN Guidelines*, International Atomic Energy Agency Vienna, Rev. 14a, 2011.09.12, s. 9.
12. Obwieszczenie Ministra Energii z dnia 18 stycznia 2017 r. w sprawie ogłoszenia sprawozdania z realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej za lata 2014–2015 (M.P. poz. 200).

Competence Management and Integrated Management System at DSA, the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority

Zarządzanie kompetencjami i zintegrowany system zarządzania w DSA, norweskim urzędzie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej

Luca Abele Piciaccia
DSA – the Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority

Disclaimer: The views and opinions expressed in this document are those of the authors and do not necessarily represent official policy or position of DSA.

Abstract: For consistent and effective regulation of Radiation and Nuclear Safety, DSA values and mission need to be fulfilled through a competent and efficient organization. In defining what constitutes competence in the Nuclear domain the IAEA provided SARCoN (Systematic Assessment of the Regulatory Competence Need) is a very effective methodology covering the classic roles of a Regulator.

For DSA, due to the wider responsibilities linked to its mandate, the original competence assessments topics were expanded by approximately 30% to include all the activities DSA is regulating including medical and the use of non-ionizing radiation.

Improvements in the human interface were successfully introduced to enhance the value delivered to DSA and accelerate the acceptance of the methodology from colleagues and managers alike.

This article gives a brief presentation of the challenges and solutions used to tailor SARCoN to the specific DSA needs.

Keywords: Integrated management system, competence, SARCoN, regulatory framework, Norwegian DSA, mission, vision, processes.

Streszczenie: Aby spójnie i skutecznie pełnić dozór bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, wartości i misja DSA muszą być wypełniane poprzez kompetentną i sprawnie działającą organizację. Definiując pojęcie kompetencji w sektorze jądrowym, MAEA stworzyła narzędzie SARCoN (systematyczną ocenę potrzeb w zakresie kompetencji dozorowych), które jest bardzo skuteczną metodą uwzględniającą klasyczne role organu dozoru jądrowego. W DSA, z uwagi na szerszy zakres obowiązków związany z posiadanymi uprawnieniami, pierwotny zakres tematyczny oceny kompetencji rozszerzono o 30%, by objąć nim wszystkie pola działalności podległe dozorowi DSA, w tym zastosowania medyczne i wykorzystanie promieniowania niejonizującego. Wartością dodaną, uzyskaną przez DSA było wprowadzenie z powodzeniem lepszych wzajemnych relacji międzyludzkich, co przyspieszyło proces akceptacji metodologii zarówno ze strony pracowników, jak i ich przełożonych. Artykuł zawiera krótką prezentację wyzwań oraz rozwiązań przyjętych w celu dostosowania SARCoN do specyficznych potrzeb DSA.

Słowa kluczowe: Zintegrowany system zarządzania, kompetencje, SARCoN, ramy dozorowe, norweski DSA, misja, wizja, procesy.

DSA's remit as Regulatory Body

The Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority DSA (norwegian: *Direktoratet for Strålevern og Atomsikkerhet*) is the national authority and expert body in matters concerning nuclear safety, radiation use, natural radiation and radioactive contamination in the environment.

DSA is the Norwegian national regulatory body with responsibility for the safety and security of Norwegian

nuclear facilities and all facilities using radiation whether ionizing or not.

Societal mission

DSA strives to reduce the negative consequences of radiation by ensuring that the handling of radiation sources, radioactive waste and discharges, medical radiation use and closure and clean-up of nuclear facilities (decommis-

sioning) are carried out correctly and responsibly. We strive to reduce exposure to natural radiation from radon and UV. We are also responsible for managing exposure from electromagnetic fields.

DSA also strives to improve nuclear safety internationally and to prevent the dispersal of radioactive material.

DSA carries out our societal mission through administering regulations, conducting surveillance, guiding, informing, providing advice and managing knowledge.

What we do:

The Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA):

- is the national authority for nuclear safety in Norway and the expert body concerning concessions for nuclear facilities;
- oversees all use of radiation sources within medicine, industry and research and the two research reactors in Norway;
- monitors natural and artificial radiation in the environment and working life;
- has a comprehensive bilateral project collaboration with other countries;
- conducts R&D;
- chairs and serves as the secretariat for nuclear preparedness in Norway;
- has a national reference laboratory for measuring radiation doses and radioactivity on behalf of the Ministry of Justice;
- participates in the Centre for Environmental Radioactivity (CERAD), which has been designated a Centre of Excellence by the Research Council of Norway.

Organizational affiliation

- DSA is a government agency under the Norwegian Ministry of Health and Care Services.
- DSA is also the national authority and expert body for the Ministry of Climate and Environment in matters concerning radioactive contamination and radioactive waste.
- DSA also carries out assignments for the Ministry of Foreign Affairs relating to international nuclear safety.

DSA is the competent authority for the Ministry of Defence under the Act on Radiation Protection and Use of Radiation and the supervisory authority regarding matters relating to visits by military nuclear-powered vessels.

DSA is the Norwegian the national regulatory body with responsibility for the safety and security of Norwegian nuclear facilities and all facilities using radiation whether ionizing or not.

DSA is responsible for the supervision of Norwegian nuclear facilities. Its regulatory remit covers the entire life of a facility, i.e. from initial planning, through operation to

final decommissioning including the disposal of radioactive waste. Its remit also includes the safety of staff and the public and their protection from radiation, sabotage and terrorism. DSA is also involved in the transport of radioactive materials to and from nuclear facilities and in the continuing geoscientific investigations to identify a suitable location for the deep geological disposal of radioactive waste.

DSA operates within the legal framework established primarily by 4 parliamentary acts:

- Act relating to procedure in cases concerning the public administration (Public Administration Act) (01.01.2018),
- Act on Radiation Protection and Use of Radiation (No. 36 of 12 May 2000),
- Act on Nuclear Energy Activities (No. 28 of May 1972),
- Act of 13 March 1981 No.6 Concerning Protection Against Pollution and Concerning Waste in relation to radioactive pollution and waste (from 1. January 2011).

DSA supports research into nuclear safety and is represented on several international commissions and specialist groups working in the field of nuclear safety. It makes, therefore an active contribution to new international safety guidelines. Through its network of contacts, DSA is in touch with current developments in science and technology and discharges its regulatory remit on the basis of global experience in nuclear energy.

DSA vision, mission, values and policies

DSA has is formalizing and striving at expressing the organization Vision, Mission, Values, Strategies and policies in a way conducive to all interested parties understanding the value for society at large we are committed to deliver. DSA is pursuing a safety policy of maximum transparency within a framework ensuring adequate security.

DSA vision statement intends to convey the idea of the future we are working towards. Vision describes the basic human emotion we strive to be experienced by the people the organization interacts with, in DSA's case the whole Norwegian population. The vision is close to the reason for the existence of the organization.

DSA is the independent regulatory authority for the Norwegian nuclear sector. It operates in an environment that sets the highest requirements for supervision. DSA is well aware that successful supervisory work depends not only on the technical qualifications of each and every employee, but also on their values and their ability to work constructively together.

DSA aims at maintaining and fostering the Norwegian Nuclear Safety through a strong safety culture.

Safety culture comprises values, world views, verbal and non-verbal behaviors as well as building the necessary context (e.g. the regulatory framework, demands, and formal orders) which are shared by the members of the supervisory authority and demonstrate how the members of the

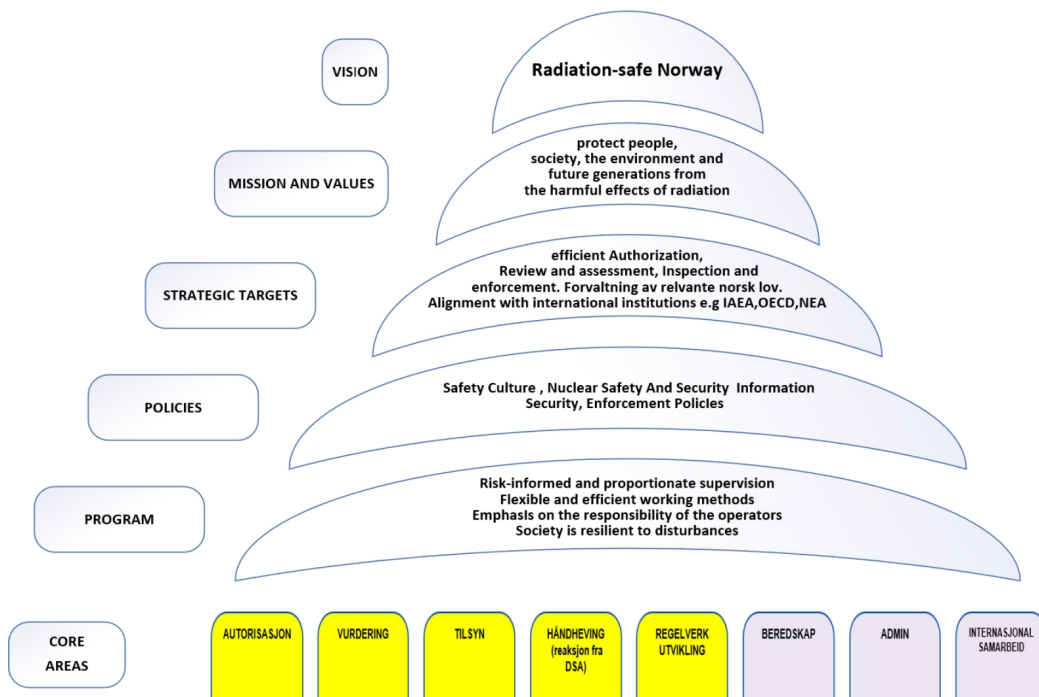


Fig. 1: The connection from high level vision and mission to operational capabilities and core competence areas.

Rys. 1. Połączenie szeroko zakrojonej wizji i misji ze zdolnościami operacyjnymi i obszarami głównych kompetencji.

authority approach and deal with nuclear safety in their regulatory work.

The regulatory framework strategy: five guiding principles:

1. DSA’s regulatory framework is harmonized with the relevant Norwegian and international requirements and is comprehensive.
2. DSA’s regulatory framework is based on tried-and-tested rules that are already in existence, wherever they are suitable for application within the directorate’s supervisory scope.

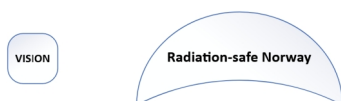


Fig. 2. The vision is close to the reason of existence of the organization.

Rys. 2. Wizja jest zbliżona do racji bytu organizacji.



Fig. 3. Mission and values of the regulatory body.

Rys. 3. Misja i wartości organu dozоровego.

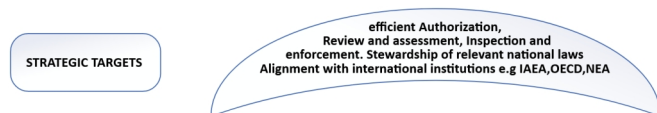


Fig. 4. The strategic targets provide long term measurable outcomes.

Rys. 4. Cele strategiczne dają długoterminowe wymierne wyniki.

3. DSA only issues its own guidelines when it is necessary to do so.
4. DSA’s guidelines are drafted transparently, with the involvement of all stakeholders.
5. The level of detail of DSA’s regulatory framework is graded with respect to the hazard.

1. Presence

- DSA is represented and active in the main international bodies that focus on the exchange of information and experiences, on the latest advances in science and technology, and on harmonizing safety provisions and requirements.

2. Transparency

- DSA informs the public about its activities. For this purpose, it relies upon the results of international conferences, developments concerning science, technology, international standards and regulations, and lessons learned from occurrences in nuclear plants within and outside of Norway.
- At international level, DSA is committed to ensuring that knowledge acquired about nuclear safety issues is communicated transparently.
- DSA also advocates an open and constructive international exchange of experiences.

3. Expertise

- DSA’s employees are expected to be familiar with the latest international developments in science and technology in their specialist areas.
- By contributing its expertise in international bodies, DSA aims to play its part in the development of international safety provisions and to support safety-oriented requirements.

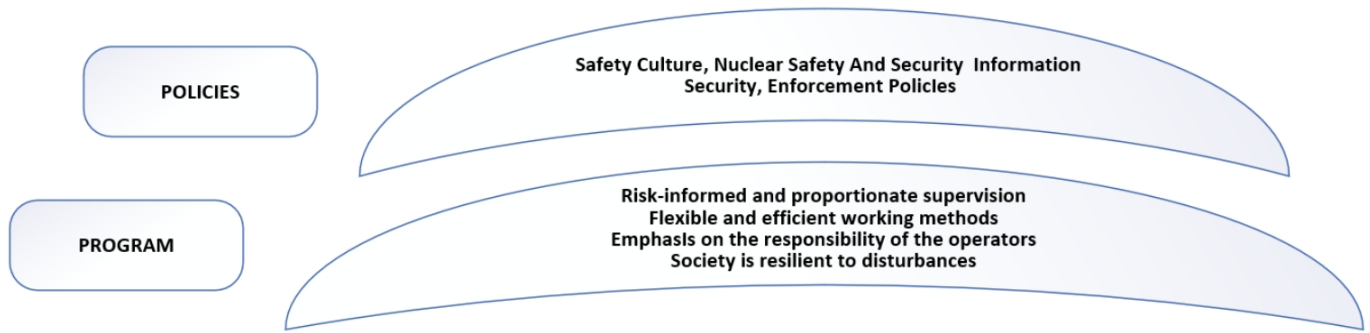


Fig. 5. Policies and programs give operational guidance to implement the strategic plan.

Rys. 5. Polityki i programy stanowią wskazówki operacyjne do wdrożenia planu strategicznego.

- DSA fosters the ongoing development of science and technology through its contributions to regulatory safety research and its participation in the major international specialist bodies.
- DSA’s regulatory framework and supervisory activities take account of current international safety provisions as well as lessons learned from important occurrences and findings from inspections in foreign nuclear facilities.

4. Independence

- Norway aims at fully meeting the IAEA’s requirements for the effective independence of government supervision of nuclear facilities and materials.
- DSA consults internationally recognized experts to obtain second opinions on supervisory decisions so that they are supported by a broader basis of technical expertise.
- DSA systematically verifies whether the Norwegian regulatory framework for nuclear safety and security meets the latest international standards, and it invites periodic reviews by international experts to determine whether it meets the IAEA requirements.
- At international level, DSA advocates that nuclear regulatory authorities should be set up independently and that they should also be able to act independently.
- DSA encourages the international community of states to carry out independent international review missions of national supervisory authorities and nuclear facilities.

IAEA IRRS, DSA is enriched by a broader international perspective

DSA invited the IAEA IRRS (Integrated Regulatory Review Service) mission [1] to have an independent expert assessment of all the operational aspects of its regulatory function.

The Integrated Regulatory Review Service helps host States strengthen and enhance the effectiveness of their

regulatory infrastructure for nuclear, radiation, radioactive waste and transport safety.

The service offers an integrated approach to the review of common aspects of any State’s national, legal and governmental framework and regulatory infrastructure for safety.

Inviting the IRRS mission is also a statement of the trust DSA has in international cooperation and the sharing of valuable experiences, ideas and advanced methodologies leveraging on the competence of all IAEA member states.

The IRRS mission resulted in recommendations which are now being implemented and are useful in shaping the new operational structure.

Form follows function

DSA has re-organized their structure in departments and sections that closely match the Norwegian regulatory needs and are functional to the stewardship of the relevant national laws and prescriptions. With the aim to be aligned with the international organizations DSA is member of, the operation of the regulatory body is obviously subject to the National regulatory framework, which constitutes the source of both the mandate and the authority DSA can exercise towards the regulated entities.

Core Regulatory Processes Thematic work groups

IAEA identifies “Core Regulatory Processes”, processes which are implemented by a regulatory body for the discharge of their duties

At DSA, stewardship of the “Core Regulatory Processes” is planned through the establishment of Thematic work groups or sections directly related to each of the areas. These are here graphically represented in the Norwegian Value Chain Model. The model also highlights the crucial role that the enabling functions perform in the regulatory activities.

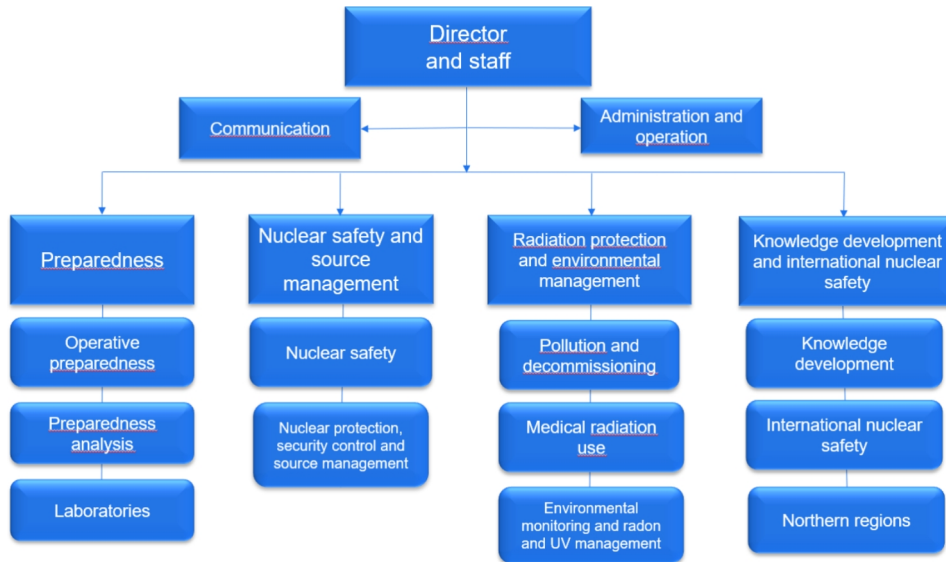


Fig. 6. The DSA new organization.

Rys. 6. Nowa organizacja DSA.

Core Regulatory Activities in the Norwegian value chain model

Each of the Thematic Work Groups will be responsible for developing the relevant processes, procedures and check-lists necessary for DSA to discharge their duties and for their stewardship including periodic and ad-hoc reviews.

The work groups are being manned by representatives of all sections and report to a steering committee to ensure cross-functional processes are indeed applicable across the whole of DSA.

Competence and capacity

SARCoN

In the Steering Committee on Regulatory Capacity Building and Knowledge Management of 2019 good insight and examples were provided by Dr. Alicja Krajenta-Kopeć from PAA.

DSA has since taken inspiration from this work and has been implementing the methodology for “Systematic Assessment of the Regulatory Competence Need (SARCoN) for regulatory Bodies of nuclear Installation” as described by the IAEA Tecdoc 1757.

DSA is currently a member of the committee’s bureau, where it is represented by the writer.

In short, the methodology proposes 4 quadrants to assess the personnel competence and provides reference values for each one of them.

Also included is a decomposition of the quadrants in topics and sub-topics, down to over 200 identified competences.

Due to DSA extremely wide area of operation, encompassing radiation from infrared to ionizing across multiple domains, we had to add over 100 specific competences to cover all the activities DSA regulates.

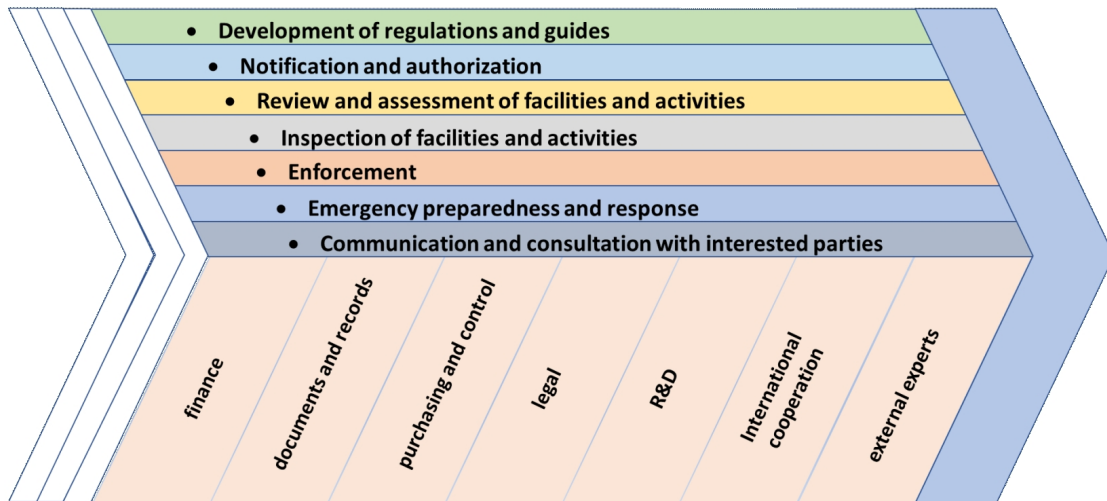


Fig. 7. The value chain model indicates the synergetic value creation in both the core (horizontal) and enabling (diagonal) functions.

Rys. 7. Model łańcucha wartości wskazuje na tworzenie synergii wartości w ramach funkcji głównych (poziomych) i wspierających (poprzecznych).

The 4 quadrants

The four quadrants are illustrated in the picture below, a detailed description exceeds the scope of this introduction, TECDOC 1757 supplies all the relevant information.

It is worthwhile to mention that IAEA values quadrant 4 (Personal and behavioral competences) as the foundation onto which all the other competence rest. Poor abilities in quadrant 4 is considered having a negative impact on the contribution from the other 3 quadrants.

IAEA 4 competence quadrants

Quadrant 4 - Personal and behavioural competences 4.1 Analytical thinking and problem solving 4.2 Personal effectiveness and self-management 4.3 Communication 4.4 Team work 4.5 Managerial and leadership competences 4.6 Safety culture competence	Quadrant 1 - Competences related to the legal, regulatory and organizational basis 1.1 Legal basis 1.2 Regulatory policies and approaches 1.3 Regulations and regulatory guides 1.4 Management system
Quadrant 3 - Competences related to regulatory body's practices 3.1 Review and assessment 3.2 Authorization 3.3 Inspection 3.4 Enforcement 3.5 Development of regulations and guides	Quadrant 2 - Technical disciplines competences 2.1 Basic science and technology 2.2 Applied science and technology 2.3 Specialized science and technology

DSA

12/04/2012

Fig. 8. Competence as categorized in TECDOC 1757 [4].

Rys. 8. Kompetencja zgodna z kategorią przypisaną w TECDOC 1757.

Each quadrant presents specific challenges when applied to the Norwegian regulatory framework and specific national context:

Challenges Quadrant 1

- The Norwegian legal basis clear but extremely concise. It is in need of interpretative additional documents to highlight alignment with IAEA recommendations.
- DSA management system is not yet fully aligned with ISO 9000 and 14000 series.
- ISO does not cover in full IAEA recommendations on IMS (ref. IAEA SRS Nr.69).

Challenges Quadrant 2

- Broad spectrum of disciplines, particularly for «Specialized science and technology».
- DSA needs to assess a realistic target for the depth vs breadth profile of its specialists, It is proposed to aim at «informed user» capability and resort to external frame agreements for in-depth analysis on a case-by-case basis.

Challenges Quadrant 3

- The practice has been developed over decades, input from the team members with long regulatory experience in Norway and DSA history is needed, a classic Knowledge Management and retention challenge.

Challenges Quadrant 4

- «Soft Skills» are somewhat difficult to assess, document and develop.

- The standard HR assessment might fall short of the specific IAEA requirements since its focus might be different.

The 4 main + 3 additional Regulatory Roles and Competence needs

SARCoN identifies the 4 main roles present in almost all the national Regulatory bodies and suggests the desirable level of competence for each of the main competence categories.

In addition, 3 additional roles are identified, present in a smaller number of regulatory bodies, also for these the desirable level of competence is provided.

DSA has introduced a graphical representation in support of the competence matrix provided in the SARCoN Tecdoc.

Authorization	Review and assessment	Inspection and enforcement	Development of regulatory guidelines	co-ordinating and monitoring R&D	Emergency preparedness	Inter-national cooperation
---------------	-----------------------	----------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------

Fig. 9. Regulatory Body roles as categorized in TECDOC 1757 [4].

Rys. 9. Role organu regulacyjnego zgodne z kategorią przypisaną w TECDOC 1757.

Competence in each specific topic is evaluated through a scale from 1 to 3 where 3 is reserved to personnel or groups that are competent enough to serve as expert and trainer for the whole organization and keep themselves updated on the most recent developments in their domain. The value of 2 is assigned to individuals or groups able to discharge the duties connected to their role in a fully satisfactory and independent mode. The value of 1 is for individuals or groups deemed able to perform the activities required from them with active supervision from level 2 and 3 resources.

IAEA suggests a typical competence level for each of the competences in a tabular form.

Human perception is challenged by large amount of data arranged in rows and columns, studies consistently indicate that the maximum 7 variables can be reliably handled by any individual.

To mitigate this human factor the writer introduced a graphic representation lowering the threshold for the tool usability, resulting in its rapid acceptance by a large majority of managers and colleagues.

Individual competence and development plan

When individual competences (in yellow) are compared with the intended role (blue perimeter) the identification of the competence gap in relation to the role is facilitated. In the yearly performance assessment these charts are helpful in identifying development paths for the individual.

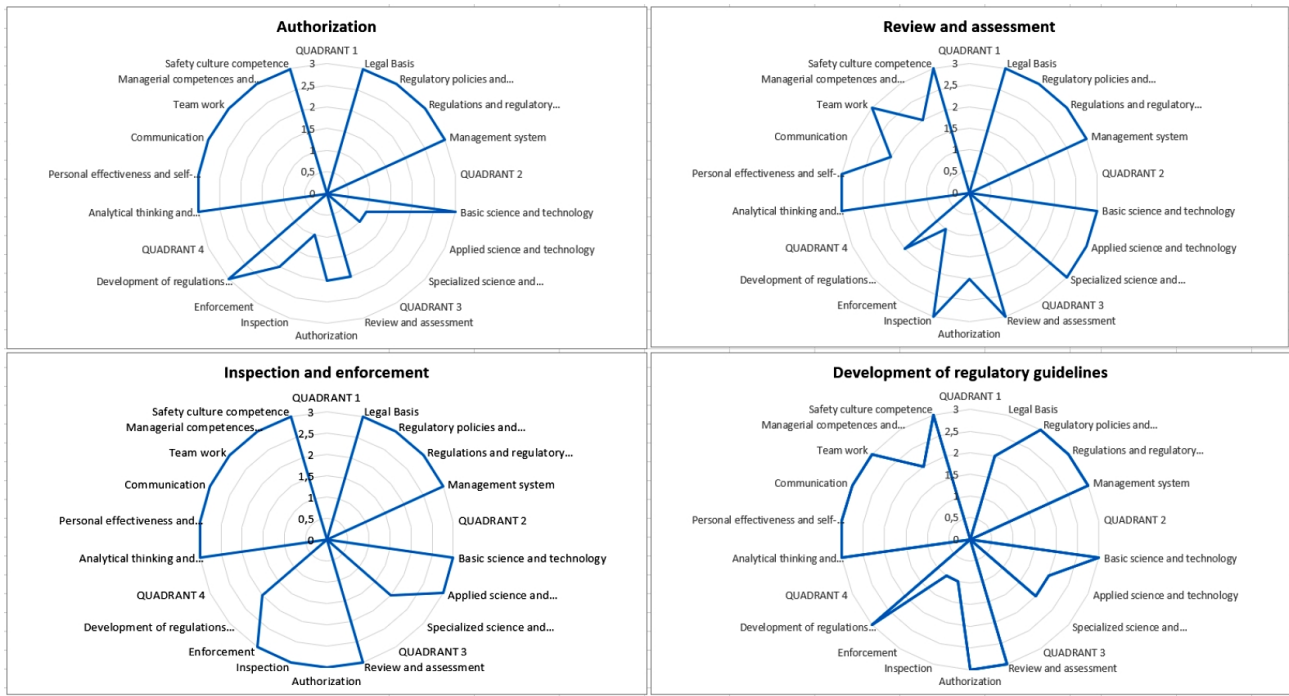


Fig. 10. Regulatory Body suggested competence level, graphic representation for the core competences.

Rys. 10. Sugerowany poziom kompetencji organu regulacyjnego, przedstawienie graficzne dla głównych kompetencji.

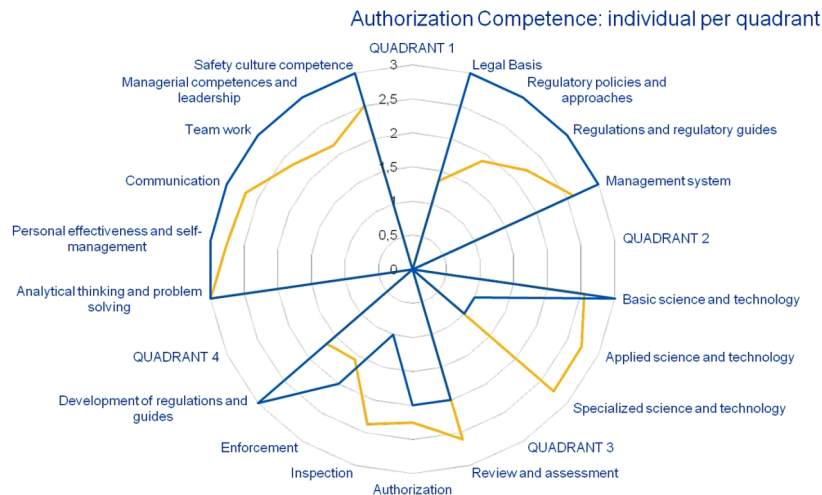


Fig. 11. Regulatory Body competence required compared to the competence assessment of an experienced staff member in one of the core areas.

Rys. 11. Wymagana kompetencja organu regulacyjnego w jednym z głównych obszarów (linie niebieskie) w porównaniu z oceną kompetencji jednego z doświadczonych pracowników (linia żółta).

Assessing the Team competence

The superimposition of all team member's profiles gives the overall competence level of a section, compared with the green ideal coverage. This enables the manager to assess if and where shortcomings are present and develop a strategy for filling the gaps through organic growth, recruiting or involvement of external TSOs (Technical Support Organizations) through ad hoc contracts or long term framework. University cooperation is also known to be very successful strategy for medium-long term competence and capacity building.

Assessing the Team capacity

Capacity can be expressed as the number of resources possessing the required competence, it is closely related to the team throughput and delivery capabilities.

In order to give a capacity overview, a different representation is needed, where the competence level is combined with the effective number of personnel possessing said competence.

In this way a resource levelling and development plan can be established for the medium and long term.

Personnel with a higher than 2 score in competence are supposed to use part of their time training personnel with

Competence: qualitative per section and quadrant

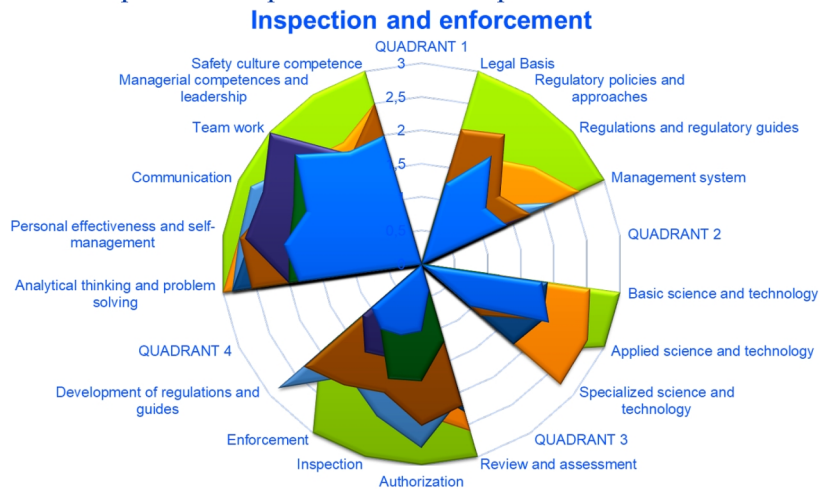


Fig. 12. Regulatory Body competence required compared to the competence assessment of a team.

Rys. 12. Wymagana kompetencja organu regulacyjnego w porównaniu z oceną kompetencji zespołu pracowników (realizujących jedną z głównych funkcji dozoru – kontroli i egzekwowania – przyp. red.).

Competence: quantitative per section and quadrant

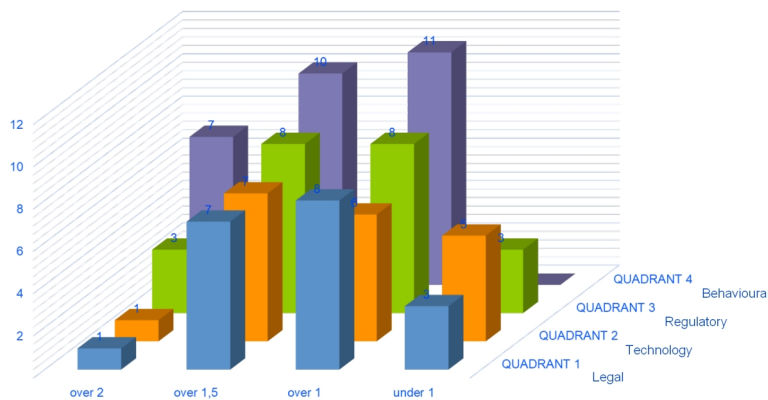


Fig. 13. Availability of personnel in the four core areas arranged by competence level to illustrate the team resource availability and relevant competence.

Rys. 13. Dostępność personelu w czterech głównych obszarach ułożona wg poziomu kompetencji w celu przedstawienia dostępności członków zespołu i odpowiednich kompetencji.

a score approaching 1, this must be reflected in the resource levelling to have a truly representative picture of the competence and capacity effectively available for discharging the section’s duties.

A tool to discover hidden talents and develop new competences

Particularly during re-organizations, the importance of having full awareness of the available competence is paramount.

With new operational and functional entities being implemented and new leaders being appointed there is a real possibility that available competence are not readily recognized due to new managers taking over newly formed groups.

The initial and understandable lack of knowledge of the strength and weaknesses of a newly formed team could lead to misallocation of personnel to tasks maybe better

served by other colleagues or not aligned with the individual development aspirations.

This must be prevented to the maximum extent possible due to the possible negative implications on the overall performance level of the organization and the motivation of the often very knowledgeable employees. SARCoN is proving to be a very valuable tool in this area.

Summary

The regulator’s effectiveness is heavily dependent on the competent staff and the management system of the organization.

Specific scientific, technical, legal and administrative competence need to have a foundation on personal and behavioral aptitudes, because the latter are the enabler for the more specialized knowledge to be put to fruition.

In the classic PDCA approach (plan-do-check-act) the first step is charting the available competences and use this information to identify and fill the gaps between the present status and plan the course of action to achieve the desired outcome.

SARCoN, a methodology provided by IAEA has proven to be a very effective way to perform the mapping and planning for competence development of a regulatory body.

DSA, the Norwegian Regulatory Authority has expanded on the methodology and incorporated it in its management system, including a better alignment with the Core Regulatory Competences recommended by IAEA for a Regulatory Body.

Short bio

Luca A. Piciaccia is currently serving as Senior consultant at DSA, the Norwegian Radiation Safety Authority. He has been serving also as: Bureau member of the IAEA Steering Committee on Regulatory Capacity Building and Knowledge Management. Chair of the OECD NEA EGSSC “Expert Group on a Data and Information Management Strategy for the Safety Case”. Member of the OECD NEA EGKM “Expert Group on Knowledge Management for Radioactive Waste Management Programmes and Decommissioning”.

PhD in Industrial Engineering with specialization in artificial intelligence applied to industrial domains.

MBA with specialization in engineering management.

35 years in the Energy Sector.

President of the Norwegian Systems Engineering Council (2 terms), Chief Engineer & Program manager Subsea Systems Engineering (part of the Major Subsea Projects division), Subsea Engineering Quality Leader and auditor, Pioneer in the successful application of AI to complex industrial and KM challenges, University lector and examiner in Systems Engineering.

Bibliography

1. IAEA Service Series No.37, *Integrated Regulatory Review Service Guidelines*, Vienna, 2018.
2. IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 2 *Leadership and Management for Safety*, Vienna, 2016.
3. IAEA General Safety Guide No. GSG-13 *Functions and Processes of the Regulatory Body for Safety*, Vienna, 2018.
4. IAEA-TECDOC-1757 *Methodology for the Systematic Assessment of the Regulatory Competence Needs (SARCoN) for Regulatory Bodies of Nuclear Installations*, Vienna, 2015.
5. Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) “Strategy of the Radiation and Nuclear Safety Authority 2018–2022” <http://www.stuk.fi/documents/88234/6922489/stuk-strategy2018-2022-050618.pdf>
6. Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI “Strategy for ENSI’s regulatory framework”, Bern, 2015.

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

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

- nauki o bezpieczeństwie,
- nauki fizyczne,
- nauki chemiczne,
- nauki prawne,
- nauki medyczne.

INFORMACJA DLA AUTORÓW

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

Każdy artykuł zamieszczony w biuletynie jest recenzowany przez dwóch recenzentów.

ZASADY OGÓLNE

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

ZGŁOSZENIE DZIEŁA

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

Biuletyn „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna”

Państwowa Agencja Atomistyki

ul. Bonifraterska 17,

00-203 Warszawa, Polska

E-mail: biuletyn@paa.gov.pl

Zachęcamy do przesyłania artykułów drogą elektroniczną na wyżej wskazany adres e-mail. Szczegółowe informacje można uzyskać na stronie internetowej:

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

Państwowa Agencja Atomistyki
ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa
www.gov.pl/web/paa