



mgr inż. AGNIESZKA ADAMUS-WŁODARCZYK (ORCID: 0000-0001-9639-1138)
 dr hab. inż. EMILIA IRZMAŃSKA (ORCID: 0000-0001-8138-5552)
 dr hab. inż. KATARZYNA MAJCHRZYCKA, prof. CIOP-PIB (ORCID: 0000-0002-0813-4260)
 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

dr hab. MAGDALENA DŁUGOSZ-LISIECKA, prof. PŁ (ORCID: 0000-0003-1358-049X)
 Politechnika Łódzka

Kontakt: kamaj@ciop.lodz.pl

DOI: 10.54215/BP.2024.5.12.Adamus-Wlodarczyk

Wpływ promieniowania jonizującego na materiały stosowane w ŚOI przeznaczonych dla służb ratowniczych PSP

Fot. Magdalena Długosz-Lisiecka



W zakresie obowiązków straży pożarnej są m.in. działania operacyjne związane ze zdarzeniami radiacyjnymi, w tym polegające na: identyfikacji źródła zagrożenia, ratowaniu ludzi, zwierząt i mienia, zabezpieczeniu terenu i wstępnej dekontaminacji skażonego terenu. Podczas wykonywania tych czynności konieczne jest stosowanie środków ochrony indywidualnej, które mają zapewnić wysoki stopień bezpieczeństwa strażakom. Takie środki mogą być wielokrotnie narażone na oddziaływanie szkodliwego promieniowania jonizującego i innych szkodliwych związków chemicznych związanych z zaistniałym zdarzeniem. Działanie promieniowania jonizującego na materiały polimerowe i tekstylne wywołuje pierwotne i wtórne procesy fizykochemiczne, prowadzące do nieodwracalnych zmian chemicznych, które mogą wpływać na właściwości ochronne tych materiałów. Dlatego z punktu widzenia bezpieczeństwa pracowników straży pożarnej istotne jest ustalenie wpływu promieniowania i procedur związanych z dekontaminacją na zachowanie skuteczności działania środków ochrony indywidualnej.

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, zdarzenie radiacyjne, środki ochrony indywidualnej

Ionizing radiation and its potential impact on the effectiveness of PPE used by the State Fire Service rescue teams

The responsibilities of the fire brigade encompass operational activities related to radiation emergencies, which include: identifying the source of the threat, rescuing people, animals and property, securing the area and preliminary decontamination of the area. While performing these activities, it is necessary to use high-level personal protective equipment, which may be repeatedly exposed to harmful ionizing radiation and other harmful chemicals associated with the decontamination process. The action of ionizing radiation on polymer and textile materials causes primary and secondary physicochemical processes, leading to irreversible chemical changes that may affect the protective properties of these materials. Therefore, from the point of view of the safety of fire brigade employees, it is important to determine the impact of radiation and decontamination procedures on maintaining the effectiveness of personal protective equipment.

Keywords: ionizing radiation, radiation emergency, personal protective equipment

Wstęp

Praca funkcjonariuszy służb mundurowych (straży pożarnej, policji, wojska i in.), niezależnie od formacji, charakteryzuje się znacznie większym niż przeciętnie zawodowym narażeniem na utratę zdrowia lub życia w związku z pełnioną służbą. Ryzyko zawodowe wynikające z sytuacji i wydarzeń niebezpiecznych, w których z założenia biorą udział funkcjonariusze, jest stałym elementem ich pracy.

Zawód strażaka został zakwalifikowany do grupy o bardzo wysokim stopniu ryzyka. Zgodnie z danymi Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej (KG PSP) w Polsce funkcjonują m.in. 504 jednostki ratowniczo-gaśnicze PSP i 5030 jednostek Ochotniczej Straży Pożarnej (OSP). Ich praca wiąże się z wieloma zagrożeniami występującymi podczas akcji ratowniczo-gaśniczych, które mogą niekorzystnie wpływać na zdrowie strażaków, a niejednokrotnie także zagrażać ich życiu. Należy podkreślić, że środowisko pracy strażaka jest niezwykle różnorodne i znacznie ewoluowało przez ostatnich kilkadziesiąt lat. Wcześniejszy katalog działań sprowadzał się głównie do zdarzeń związanych z gaszeniem pożarów, natomiast obecnie akcje ratowniczo-gaśnicze, szkolenia i ćwiczenia obejmują całe spektrum epizodów związanych dodatkowo z wieloma innymi zagrożeniami, takimi jak m.in.: przeciążenie układu ruchu, hałas, mikroklimat (zimny i gorący), przeciążenie psychiczne pracą, stres, drgania i wibracje, niewłaściwa organizacja systemu służby, kontakt z agresywnymi zwierzętami, zatrucie CO i innymi gazami, czynniki chemiczne i biologiczne czy promieniowanie jonizujące. Biorąc pod uwagę wszystkie uwarunkowania pracy i potrzeby PSP, istotnym zagadnieniem są działania prowadzone na rzecz poprawy bezpieczeństwa podczas działań operacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem akcji ratowniczych. Zdarzenia radiacyjne to specyficzny obszar działania straży pożarnej, obejmujący często wiele aktywności, w tym: identyfikację źródła zagrożenia, ratowanie ludzi i zwierząt, ocenę narażenia, wstępną dekontaminację oraz zabezpieczenie terenu. Podczas wszystkich tych działań operacyjnych konieczne jest stosowanie środków ochrony indywidualnej (ŚOI), zapewniających strażakom wysoki poziom ochrony (zob. fot.). Środki te, przed wprowadzeniem ich do użytkowania przez pracowników straży pożarnej, są poddawane restrykcyjnym badaniom na zgodność z wymaganiami określonymi w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [1]. Choć system oceny zgodności ŚOI obowiązujący na terenie całej Unii Europejskiej gwarantuje jednolity wysoki poziom ochrony ŚOI, to obejmuje on wyłącznie okres do przekazania tych wyrobów do użytkowania. A przecież podczas wykonywania przez pracowników straży pożarnej czynności zawodowych mogą wystąpić takie uwarunkowania związane ze specyfiką oddziaływania



Fot. Funkcjonariusz PSP podczas zdarzenia radiacyjnego, wyposażony w środki ochrony indywidualnej (kombinezon chemoodporny z pochłaniającym sprzętem ochrony układu oddechowego oraz obuwie ochronne całogumowe) (fot. Magdalena Długosz-Lisiecka)

Photo. A State Fire Service officer during a radiological incident, equipped with personal protective equipment (chemical-resistant suit with gas filter and full rubber protective footwear)

czynników niebezpiecznych na materiały ŚOI, które wpłyną na zmniejszenie poziomu bezpieczeństwa użytkowników. Dotychczas nie prowadzono badań nad ustaleniem wpływu promieniowania jonizującego na trwałość oraz funkcjonalność ŚOI w symulowanych warunkach użytkowania.

W odpowiedzi na to zapotrzebowanie w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) w Zakładzie Ochron Osobistych podjęto zadanie badawcze, którego celem ogólnym jest opracowanie metod i kryteriów oceny wpływu promieniowania jonizującego na materiały konstrukcyjne ŚOI stosowanych przez funkcjonariuszy PSP podczas zdarzeń radiacyjnych. W ramach tego zadania przygotowywane są zwłaszcza wytyczne dotyczące wpływu promieniowania jonizującego beta oraz gamma na trwałość i funkcjonalność ŚOI. Celem niniejszego artykułu jest analiza rodzajów zdarzeń radiacyjnych oraz rodzajów ŚOI stosowanych podczas tych zdarzeń, a także identyfikacja możliwych procesów wynikających z działania promieniowania jonizującego, które mogą negatywnie wpływać na materiały konstrukcyjne ŚOI. W wyniku przeprowadzonej analizy zaproponowano procedurę oceny właściwości ŚOI w przypadku narażenia na działanie promieniowania jonizującego, która została szczegółowo omówiona w artykule.

Zdarzenia radiacyjne – charakterystyka i regulacje prawne

Odkrycie przez Marię Skłodowską-Curie zjawiska promieniotwórczości oraz izotopów radioaktywnych było niewątpliwie jednym z kamieni milowych w rozwoju światowej nauki. Rewolucja w zakresie badań nad zjawiskiem promieniotwórczości prowadziła przez wiele jego cennych zastosowań – takich jak: aparaty rentgenowskie, akceleratory i cyklotrony oraz reaktory jądrowe – lecz niestety wiązała się również z użyciem bomb atomowych w Hiroszimie i Nagasaki w sierpniu 1945 r.

Każdego dnia jesteśmy narażeni na tzw. promieniowanie tła, czyli promieniowanie pochodzące ze źródeł naturalnych na danym terenie. Bywa też, że nieświadomie podlegamy działaniu promieniowania wywołanego sztucznie. Według danych US Department of Energy w czasie lotu z Los Angeles do Nowego Jorku (odległość ok. 4500 km) ludzki organizm pochłania dawkę ok. 0,0037 mSv. W porównaniu z tym dawka otrzymana w czasie kontroli bezpieczeństwa na lotnisku (przy przechodzeniu przez specjalną bramkę wykrywającą metale) jest w zasadzie pomijalna. Innym typem promieniowania pochodzenia naturalnego jest promieniowanie jonizujące ze źródeł znajdujących się w ziemi. Nie rozkłada się ono równomiernie. Są miejsca na świecie, gdzie ludzie otrzymują większe dawki w porównaniu z populacją z innych obszarów. Tak jest np. w okolicach miasta Ramsar w Iranie. Według danych publikowanych przez World Nuclear Association średnia roczna dawka promieniowania jonizującego pochodzącego ze źródeł naturalnych wynosi tam ok. 260 mSv, czyli ponad 100 razy więcej niż średnio w Polsce. Pod tym względem bardziej narażeni są astronauta i kosmonauta, zwłaszcza ci, którzy przebywają w przestrzeni kosmicznej długo (kilka miesięcy). W ich przypadku średnia roczna dawka promieniowania jonizującego wynosi 400-700 mSv.

Techniki jądrowe znalazły również szerokie zastosowanie w medycynie – zarówno w diagnostyce (czyli rozpoznawaniu stanu zdrowia pacjentów), jak i podczas leczenia niektórych chorób (np. nowotworów).

Historia występowania zdarzeń radiacyjnych jest równie długa i zróżnicowana jak badania nad zjawiskiem promieniowania jonizującego. Wzrost świadomości dotyczącej skali negatywnych skutków zdarzeń radiacyjnych spowodował potrzebę opracowania uregulowań prawnych w tym zakresie – na poziomie zarówno krajowym, jak i międzynarodowym. Katastrofy nuklearne i zdarzenia radiacyjne wymagają podejmowania odpowiednich decyzji we właściwym czasie, aby umożliwić skuteczne działania mające na celu m.in. zapewnienie ochrony ludności oraz zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych, liczby przypadków chorób czy wielkości skażeń.

W Polsce działania prewencyjne i ratownicze w ramach systemu ochrony ludności przed negatywnymi skutkami zdarzeń radiacyjnych realizują wojewódzkie centra zarządzania

krzysowego wraz z podległymi im służbami, przy czym szczególnie ważną rolę odgrywają służby ratownicze PSP. Wiąże się to z zapewnieniem ŚOI (odpowiednio dobranych do zagrożeń), w które powinni być wyposażeni ratownicy podczas działań operacyjnych.

W ustawie Prawo atomowe [2] zdarzenie radiacyjne jest definiowane jako nietypowa sytuacja lub zdarzenie z udziałem źródeł promieniowania jonizującego, wskutek którego może dojść do przekroczenia dawek granicznych dla bezpośrednich uczestników zdarzenia lub ogółu ludności. W konsekwencji zdarzenie takie wymaga podjęcia pilnych działań interwencyjnych w celu złagodzenia poważnych, niepożądanych skutków dla zdrowia i bezpieczeństwa ludności oraz jakości życia, mienia lub środowiska.

Zdarzenia radiacyjne są sytuacjami awaryjnymi, związanymi z materiałami promieniotwórczymi, mogą wystąpić w dowolnym miejscu i obejmować:

- niekontrolowane (porzucone, zagubione, skradzione lub znalezione) źródła promieniotwórcze;
- niewłaściwe użycie niebezpiecznych źródeł przemysłowych i medycznych (np. stosowanych w radiografii);
- narażenia publiczne i skażenia z nieznanego źródła [substancje radioaktywne (kurz, brud, ciecz) na powierzchniach (np. skórze) lub w ciałach stałych, cieczach lub gazach (w tym ciała ludzkiego), gdzie ich obecność jest niezamierzona lub niepożądana];
- poważne nieplanowane i niezamierzone ekspozycje pacjentów, personelu, osób z ogółu ludności;
- złośliwe działania, groźby, sabotaż;
- awarie lub wypadki pojazdów przewożących izotopy.

Monitoring mocy dawki promieniowania gamma (czyli wysokoenergetycznego, o dużej sile przenikania) w powietrzu oraz ocena jakościowa i ilościowa izotopów promieniotwórczych w atmosferze odbywają się w ramach krajowego monitoringu oraz są wspierane i uzupełniane sieciami pomiarowymi Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Ministerstwa Obrony Narodowej.

Wystąpienie zdarzenia radiacyjnego, a w konsekwencji pojawienie się w środowisku substancji promieniotwórczych lub narażenia radiologicznego, przekraczającego tzw. poziomy interwencyjne, implikuje uruchomienie odpowiednich działań. Należy pamiętać, że obok działań ratowniczych, a więc bezpośrednio związanych

z miejscem zdarzenia radiacyjnego i wstępną likwidacją jego skutków, PSP wspiera działania interwencyjne związane z procedurami zarządzania antykrzysowego, które mają na celu zapewnienie ochrony społeczeństwa i służb ratowniczych podczas reagowania na miejscu zdarzenia.

Warto w tym miejscu podkreślić, że służby ratownicze na ogół nie mają doświadczenia w sytuacjach awaryjnych związanych z promieniowaniem, ponieważ zdarzenia radiacyjne występują rzadko. Niska świadomość społeczna ma zaś wpływ na niewłaściwe postrzeganie tego zagrożenia. Bardzo niskie poziomy promieniowania, które nie stwarzają znaczącego ryzyka, mogą być szybko wykryte za pomocą prostych, powszechnie dostępnych urządzeń. Z drugiej strony materiały radioaktywne mogą przez kilka dni lub tygodni, a niekiedy przez lata powodować narażenie ludzi, nawet gdy nie mają oni bezpośredniego kontaktu z tymi materiałami. Co więcej, opinia publiczna, media i sami ratownicy często przesadnie obawiają się promieniowania.

Uwolnienie izotopów promieniotwórczych w wyniku wybuchu powoduje bardzo efektywną ich emisję do atmosfery, a następnie do innych składowych środowiska, w tym gleby i wód. Materiał radioaktywny może być niebezpieczny, jeśli dostanie się do organizmu człowieka przez wdychanie, połknięcie lub przez otwarte rany. Wdychanie materiału radioaktywnego w promieniu ok. 100 m od pożaru lub eksplozji z udziałem wysokoaktywnego źródła promieniotwórczego może wywoływać poważne deterministyczne skutki zdrowotne (śmierć określonej liczby komórek, która prowadzi do upośledzenia funkcji tkanki lub narządu). Dzieje się tak wtedy, gdy dana osoba przebywa w dymie przez większą część czasu trwania uwolnienia i nie używa sprzętu ochrony układu oddechowego. Radioaktywne pyły przenoszone przez powietrze lub wodę mogą również zostać połknięte i przedostać się do układu pokarmowego. Ponadto zawieszenie pyłów radioaktywnych w powietrzu lub glebie stwarza ryzyko ich wnikięcia do otwartych ran, a w konsekwencji – do układu krwionośnego. Dlatego tak ważne jest stosowanie odpowiednio dobranych i skutecznych ŚOI. Należy jednak podkreślić, że stosowane środki mogą być wielokrotnie narażone na oddziaływanie szkodliwego promieniowania jonizującego oraz innych szkodliwych związków chemicznych związanych z procesem dekontaminacji. Zacho-

dzące pod wpływem tych czynników potencjalne zmiany (degradacja) w strukturze materiałów konstrukcyjnych ŚOI mogą wpływać na ich właściwości ochronne. Dlatego z punktu widzenia bezpieczeństwa pracowników straży pożarnej istotne jest ustalenie wpływu dawki promieniowania oraz procedur związanych z dekontaminacją na zachowanie skuteczności działania ŚOI.

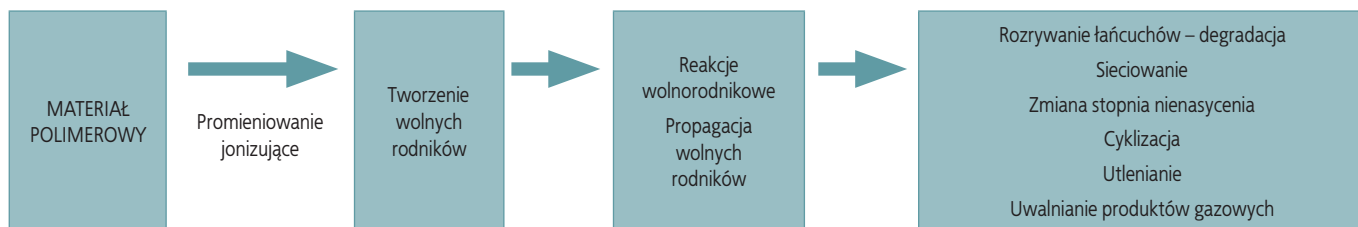
Pomimo stosowanych środków ostrożności wypadki związane z eksploatacją urządzeń wytwarzających promieniowanie lub z używaniem materiałów promieniotwórczych mogą się zdarzyć. Wyciąganie wniosków z tych wypadków ma kluczowe znaczenie dla ciągłego wzmacniania bezpieczeństwa jądrowego oraz opracowywania wytycznych i procedur działań, mających na celu ochronę zdrowia i minimalizowanie zagrożenia dla życia i mienia ludzi.

Wpływ promieniowania jonizującego na materiały polimerowe

Przykładami nieodwracalnych zmian chemicznych zachodzących w polimerach poddanych działaniu promieniowania jonizującego są procesy: degradacji, sieciowania, zmiany stopnia nienasylenia, cyklizacji, utleniania i uwalniania produktów gazowych [3-17] (rys. 1).

Sieciowanie jest procesem fizycznym, który prowadzi do wzrostu ciężaru cząsteczkowego polimeru na skutek tworzenia poprzecznych wiązań pomiędzy atomami węgla dwóch sąsiednich łańcuchów polimerowych. Przy odpowiednio dużych dawkach promieniowania $D > D_g$ (gdzie: D – pochłonięta dawka promieniowania, D_g – dawka żelowania) dochodzi do utworzenia nierozpuszczalnej frakcji żelowej. Sieciowanie radiacyjne polimerów polegające na rekombinacji makrorodników jest możliwe wyłącznie w przypadku, gdy ruchliwość łańcuchów polimerowych jest wystarczająco duża. Dlatego sieciowanie zachodzi przede wszystkim w fazie amorficznej polimerów, a wraz ze wzrostem krystaliczności jego wydajność ulega zmniejszeniu. Na wartość fazy uporządkowanej, a jednocześnie na możliwości sieciowania, wpływ mają: liniowa struktura polimeru, obecność grup polarnych i grup bocznych oraz stopień polimeryzacji.

W procesie degradacji wiązania w głównym łańcuchu makrocząsteczki ulegają zerwaniu, czego konsekwencją jest obniżenie ciężaru cząsteczkowego polimeru.



Rys. 1. Procesy zachodzące w materiałach polimerowych pod wpływem promieniowania jonizującego
Fig. 1. Processes occurring in polymeric materials under the influence of ionizing radiation

Zmiana stopnia nienasycenia polega z kolei na tworzeniu lub zaniku podwójnych wiązań typu winylowego ($R-CH=CH_2$), winylenowego ($R,R_2-C=CH_2$), trans-winylenowego ($R-CH=CH-R$) [8, 9]. Z punktu widzenia użytkowego obecność podwójnych wiązań w polimerach jest zwykle niepożądana, ponieważ pogarsza ich właściwości, m.in. przyspiesza proces starzenia.

Cyklizacja jest procesem wewnątrzcząsteczkowym, powodującym powstawanie połączeń cyklicznych (pętli) wbudowanych w łańcuch główny makrocząsteczki w wyniku łączenia się fragmentów zerwanego łańcucha polimeru.

Wolne rodniki powstające w czasie radiolizy polimerów w obecności powietrza tworzą liczne produkty utlenienia, które obniżają własności użytkowe polimerów. Wydajność radiacyjnego utleniania polimerów w głównej mierze zależy od procesu dyfuzji tlenu w próbce stałego polimeru (ważnymi parametrami są tutaj: grubość napromienianej warstwy, temperatura i ciśnienie). W niektórych przypadkach proces utleniania polimeru prowadzi się w sposób zamierzony, np. w celu zainicjowania kopolimeryzacji szczepionnej. Większość rodników organicznych reaguje praktycznie nieodwracalnie z tlenem ze stałą szybkością reakcji bliską stałej szybkości reakcji kontrolowanych dyfuzyjnie.

Wydzielanie gazów to obok procesu utleniania jeden z ważniejszych procesów chemicznych zachodzących podczas radiolizy polimerów. Najczęściej wydzielany jest wodor, ale w zależności od budowy polimeru mogą powstawać inne produkty niskocząsteczkowe stanowiące fragmenty łańcuchów bocznych. W przypadku np. poli(chloru winylu) (PVC) głównym produktem gazowym radiolizy jest HCl, a w przypadku poli(metakrylanu metylu) (PMMA) są nimi CO i CO₂.

Charakter zmian zachodzących w polimerach poddanych działaniu promieniowania jonizującego zależy w głównej mierze od ich budowy chemicznej, ale również od warunków prowadzenia procesu (takich jak: prowadzenie procesu w obecności tlenu lub gazu obojętnego, szybkość dawkowania, temperatura napromieniania). Odpowiedni dobór warunków napromieniania może wpływać na charakter inicjowanych procesów radiacyjnych. Przykładem może być poli(tetrafluoroetylen) (PTFE), który przez wiele lat był zaliczany do grupy polimerów ulegających wyłącznie degradacji w wyniku napromieniania. Dopiero w 1994 r. Oshima i współpracownicy wykazali, że napromienianie PTFE w stanie stopionym (tj. w temperaturze ok. 327°C) w atmosferze bez-tlenowej prowadzi do utworzenia struktury usieciowanej [6].

Na podstawie przeanalizowanych danych literaturowych można założyć, że w materiałach polimerowych mogą nastąpić zmiany strukturalne, które potencjalnie wpływają na zmianę właściwości fizykochemicznych. Osiągnięcie przez wyrób określonego poziomu ochrony jest ściśle powiązane z jego morfologią, zatem nasuwa się wniosek, że zmiany w budowie strukturalnej spowodują obniżenie wyjściowych właściwości

użytkowych i ochronnych. Stwierdzenie tego faktu jest niezwykle istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowania ŚOI. Mogą się zwłaszcza zdarzyć sytuacje, gdy pracownicy PSP nie będą dysponować wystarczającą wiedzą o naturze czy skali zdarzenia, a w konsekwencji używane przez nich ŚOI nie zapewnią właściwego poziomu ochrony.

Ogólne wskazówki dotyczące badań wpływu promieniowania jonizującego na właściwości ŚOI

Do najważniejszych dokumentów zawierających podstawowe wymagania dotyczące ŚOI, w tym specjalistycznej odzieży ochronnej (ubrania specjalnego) dla strażaków, należą:

- rozporządzenie w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej [10],
- rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania [11],
- zarządzenie nr 9 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej w sprawie wzorców oraz szczegółowych wymagań, cech technicznych i jakościowych przedmiotów umundurowania, odzieży specjalnej i środków ochrony indywidualnej użytkowanych w Państwowej Straży Pożarnej – karta KT-43 „WYMAGANIA TECHNICZNE dla ubrania specjalnego” [12].

Podstawą w procesie wyboru ŚOI do badań wpływu promieniowania jonizującego na ich trwałość i funkcjonalność były wytyczne zawarte w wymienionych dokumentach. Ze względu na różny charakter zdarzeń radiacyjnych, które łączy się głównie z wielkością dawki napromieniania, konieczne jest uwzględnienie wszystkich rodzajów materiałów przeznaczonych do wytwarzania ŚOI używanych standardowo przez pracowników straży pożarnej. Będą to na ogół materiały polimerowe, modyfikowane lub kompozytowe, ponieważ gwarantują one uzyskanie wysokiego poziomu ochronnego działania. Na szczególną uwagę zasługują materiały stosowane do produkcji odzieży ochronnej, w tym gazoszczelnej, oraz środków ochrony kończyn górnych i dolnych, a także środków ochrony oczu i twarzy.

Przy ustalaniu dawek napromieniania ŚOI należy wziąć pod uwagę fakt, że osoba, która uczestniczy w działaniach ratowniczych związanych z usuwaniem skutków zdarzenia radiacyjnego oraz w działaniach interwencyjnych, nie może otrzymać w czasie trwania tych działań dawki przekraczającej wartość rocznej dawki granicznej dla ogółu ludności, tj. 1 mSv/rocznie, z wyjątkiem sytuacji narażenia wyjątkowego, które obejmuje:

- zapobieżenie utracie życia i zdrowia,
- uniknięcie dużego napromieniania znacznej liczby osób,
- zapobieżenie katastrofie na większą skalę.

W tych przypadkach osoba uczestnicząca w działaniach (w sposób dobrowolny i z zasto-

sowaniem dozimetrii osobistej lub oceny narażenia) nie powinna przekroczyć dawki skutecznej większej niż 100 mSv, a gdy chodzi o ratowanie ludzkiego życia, dawka nie powinna przekroczyć 500 mSv.

Osoby z ogółu ludności będące ofiarami zdarzenia radiacyjnego nie powinny co do zasady przekroczyć dawki skutecznej efektywnej o wartości 100 mSv.

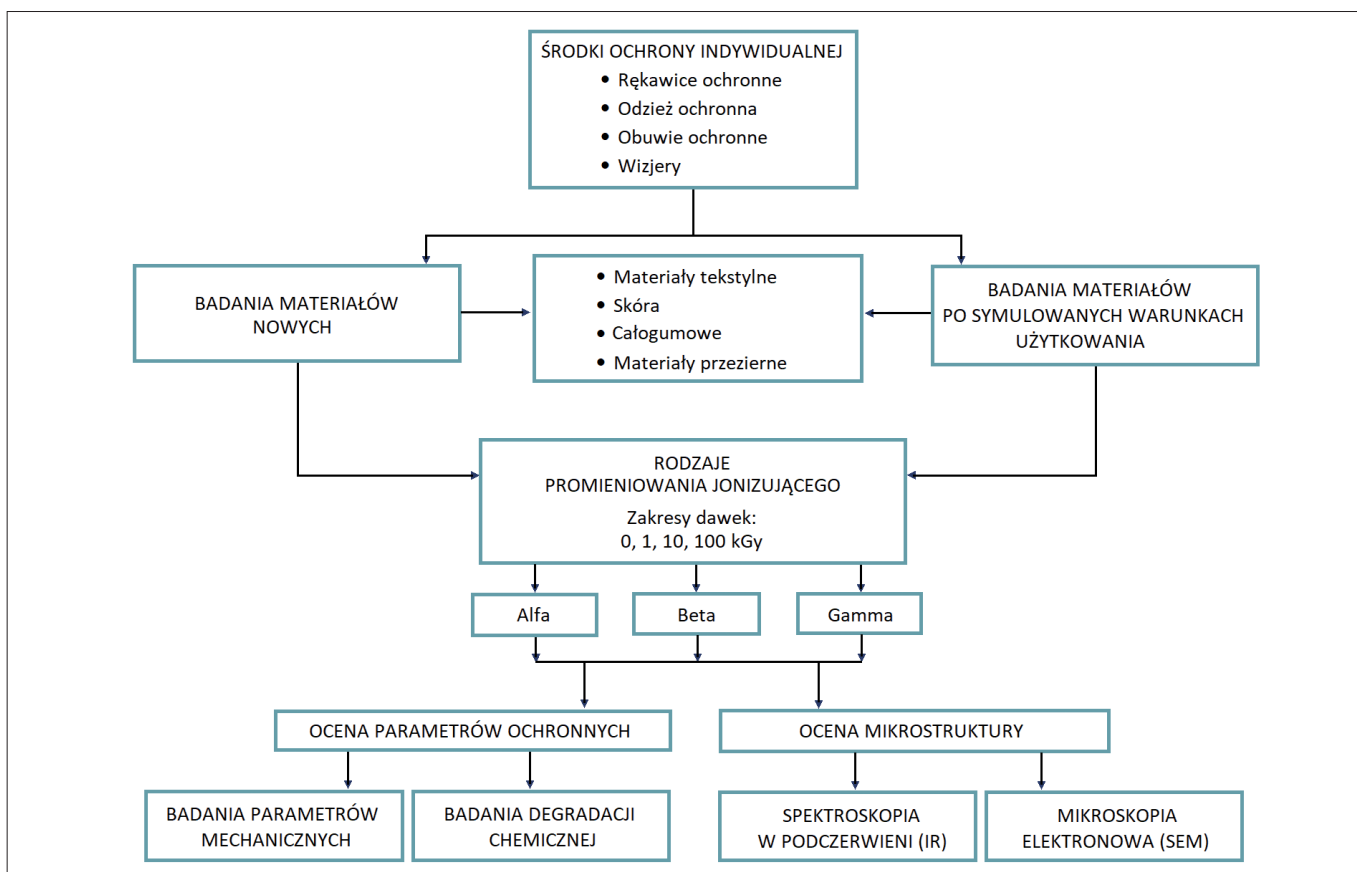
Na potrzeby realizacji opisanych na wstępie prac CIOP-PIB nawiązał współpracę z Międzyresortowym Instytutem Techniki Radiacyjnej, Laboratorium Metod Izotopowych – LMI-IZOTOP Politechniki Łódzkiej oraz Komendą Główną PSP i Głównym Specjalistą ds. Zagrożeń Radiacyjnych. W ramach tej współpracy prowadzono konsultacje merytoryczne związane ze środowiskiem pracy służb ratowniczych PSP oraz kryteriami wyboru metodyki napromieniania materiałów konstrukcyjnych ŚOI.

Na podstawie konsultacji i analizy danych literaturowych wytypowano źródła promieniowania jonizującego, które symulują procesy zachodzące podczas zdarzenia radiacyjnego. Do przyszłych badań przewidziano trzy rodzaje promieniowania, w tym: wiązkę elektronów (EB – *electron beam*), źródła gamma oraz izotop promieniowania α . Badania będą prowadzone w szerokim zakresie dawek, poczynwszy od niskich dawek rzędu 1 Gy do bardzo wysokich dawek rzędu 100 kGy (gdzie 1 Gy odpowiada ilości energii 1 J/kg). Wynika to z przyjętego kryterium, że dawki napromieniania obejmują sytuację, które dają się przewidzieć, oraz sytuacje awaryjne związane z nagłymi zdarzeniami radiacyjnymi. Tak szeroki zakres dawek napromieniania pozwoli na oszacowanie trwałości ŚOI pod względem potencjalnej zmiany ich parametrów ochronnych i użytkowych. Propozycję procedury oceny ŚOI narażonych na działanie promieniowania jonizującego przedstawiono na rys. 2.

Podsumowanie

Z przeglądu literatury dotyczącej zdarzeń radiacyjnych wynika, że nie można ich całkowicie uniknąć, można za to zminimalizować ryzyko ich wystąpienia i ograniczyć negatywne skutki dla organizmu człowieka. W tym kontekście ważne jest podejmowanie działań prewencyjnych ukierunkowanych w pierwszej kolejności na pozyskanie wiedzy mającej wpływ na podniesienie bezpieczeństwa pracowników grup ratowniczych straży pożarnej.

Zdarzenia radiacyjne mogą wystąpić nagle, w nietypowych sytuacjach, skutkiem czego możliwe jest przekroczenie dawek granicznych dla pracowników lub ogółu ludności. Promieniowanie jonizujące wywiera negatywny wpływ na organizm człowieka, ale również wywołuje zmiany w materiałach, na które oddziałuje. Na skutek kontaktu z promieniowaniem jonizującym zachodzą m.in. procesy degradacji, sieciowania i utleniania, co w konsekwencji może mieć wpływ na właściwości fizykochemiczne



Rys. 2. Procedura oceny ŚOI w przypadku narażenia na działanie promieniowania jonizującego
Fig. 2. Procedure for assessing PPE in the event of exposure to ionizing radiation

polimerów. Zmiany zachodzące w materiałach konstrukcyjnych ŚOI stosowanych przez straż pożarną mogą pogarszać parametry ochronne ŚOI i tym samym obniżać poziom bezpieczeństwa strażaków. Aby potwierdzić, że kontakt ŚOI z promieniowaniem jonizującym nie wpływa negatywnie na bezpieczeństwo strażaków używających te ŚOI, należy ocenić zmiany w zakresie parametrów ochronnych mechanicznych i chemicznych. Pozwoli to na sformułowanie zaleceń i wytycznych dla PSP, jak używać ŚOI, które zostały narażone na działanie promieniowania jonizującego. Zalecenia i wytyczne w postaci materiałów szkoleniowych będą przeznaczone do wykorzystania przez funkcjonariuszy PSP działających w ramach służb wykonujących działania ratownicze lub likwidujących skutki zdarzeń radiacyjnych o zasięgu województwa lub kraju.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylenia dyrektywy Rady 89/686/EWG (Dz.Ur. L 81 z dnia 31 marca 2016 r., s. 51-98).
- [2] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (t.j. Dz.U. z 2023 r. poz. 1173, z późn. zm.).
- [3] CHAPIRO A. Radiation Chemistry of Polymeric Systems. Nowy Jork: John Wiley & Sons, Inc., 1962.
- [4] LUND A., NILSSON G., SAMSKOG P.O. Structure and reactions of reduction products in crystalline polymeric materials by combining pulse radiolysis and ESR. Radiation Physics and Chemistry. 1986, 27: 111-121.
- [5] WILLARD J.E. The radiation chemistry of organic solids. [W:] Farhataziz, M.A.J Rodgers (red.), Radiation Chemistry. Principles and Applications. VCH Publishers, Inc., 1987, s. 395-434.
- [6] IVANOV V.S. Radiation Chemistry of Polymers. Utrecht: VSP, 1992.
- [7] WOODS R.J., PIKAEV A.K. Applied radiation chemistry: Radiation Processing. Nowy Jork: John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [8] CHARLESBY A. Chemia radiacyjna polimerów. Warszawa: WNT, 1962.
- [9] KROH J. Technika radiacyjna. Warszawa: WNT, 1971.
- [10] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 września 2021 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. poz. 1795, z późn. zm.).
- [11] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r.

w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz.U. nr 143, poz. 1002, z późn. zm.).

[12] Zarządzenie nr 9 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 5 lutego 2007 r. w sprawie wzorców oraz szczegółowych wymagań, cech technicznych i jakościowych przedmiotów umundurowania, odzieży specjalnej i środków ochrony indywidualnej użytkowanych w Państwowej Straży Pożarnej – karta KT-43 „WYMAGANIA TECHNICZNE dla ubrania specjalnego” (Dz.Ur. Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej nr 2 poz. 17, z późn. zm.).

Opracowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy” (zadanie nr 1.ZS.07 pn. „Wpływ promieniowania jonizującego na trwałość środków ochrony indywidualnej”), finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej (do 12 grudnia 2023 r. – pn. Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.