

# JONIZACYJNA CZUJKA DYMU

czy rzeczywiście  
JEST SIĘ CZEGO OBAWIAĆ?

## ASPEKT BEZPIECZEŃSTWA RADIACYJNEGO



### STRESZCZENIE

Jonizacyjne czujki dymu, to urządzenia, w których wykorzystuje się promieniowanie jonizujące w celu wykrycia dymu. Użycie elementu promieniotwórczego o niewielkiej aktywności jest dopuszczone ze względu na to, że ryzyko wydostania się substancji promieniotwórczej i występowanie promieniowania jonizującego poza urządzeniem jest dalece pomijalne w stosunku do możliwości uratowania życia ludzkiego.

W produkowanych obecnie jonizacyjnych czujkach dymu firmy **POLON-ALFA** aktywność substancji promieniotwórczej jest bardzo niska (7,4 kBq), niemniej jednak warto prześledzić dokładną budowę czujki i źródła promieniotwórczego wraz z ich kolejnymi etapami kontroli jakościowej podczas procesu produkcyjnego. W artykule zasygnalizowano również sposób postępowania z jonizacyjnymi czujkami dymu w trakcie i po wycofaniu z eksploatacji w celu zapewnienia bezpieczeństwa środowiska i zdrowia ludzi.

### TROCHĘ HISTORII

W późnych latach 30-tych ubiegłego wieku szwajcarski fizyk Walter Jaeger pracował nad sensorem do detekcji gazu trującego. Urządzenie nie rejestrowało jednak małych ilości gazu. Sfrustrowany konstruktor zapalił papierosa, a dym ku jego zaskoczeniu spowodował zadziałanie urządzenia. Jak się później okazało eksperyment Jaeger'a pomógł wydatnie utworzyć drogę do powstania jonizacyjnej czujki dymu [1].

W 1939 roku kolejny Szwajcar, tym razem dr Ernst Meli skonstruował urządzenie z komorą jonizacyjną, które używano w kopalniach w celu detekcji gazów [2]. W niedalekiej przyszłości konstruktor tak bardzo rozwinął urządzenie, że było już w stanie reagować na dym pochodzący od pożaru. Jednocześnie jonizacyjna czujka dymu była rozwijana i to z sukcesami w Stanach Zjednoczonych, gdzie po raz pierwszy urządzenie zostało sprzedane w 1951 roku. Czujki używane były jednak wtedy tylko w dużych obiektach handlowych oraz przemysłowych, ze względu na ich spore rozmiary i koszty [3].

W 1955 rozpoczęto produkcję prostszych i przede wszystkim tańszych rozwiązań przeznaczonych do ochrony prywatnych domów [4]. Jednak dopiero w 1963 roku Komisja Energii Atomowej Stanów Zjednoczonych [The United States Atomic Energy Commission (USAEC)] udzieliła pierwszej licencji na

dystrybucję jonizacyjnych czujek dymu, które zawierają niewielki element promieniotwórczy.

Konstruktorem pierwszej jonizacyjnej czujki przeznaczonej do praktycznego zastosowania w domu był Duane Pearsall z firmy Statirol Corporation [5], który w 1965 roku wraz ze swoim współpracownikiem Stanleyem Bennettem Petersonem skonstruowali czujkę pod nazwą SmokeGard 700 (Rys. 1). Czujka była łatwa do zamontowania, a przy tym relatywnie niedroga.

Dopiero jednak w 1970 roku do sprzedaży weszła czujka z zasilaniem bateryjnym [6].



Rys. 1. Jonizacyjna czujka dymu SmokeGard 700 (produkcji Statirol Corporation)

Warto zaznaczyć, że pierwszą jonizacyjną czujkę dymu w Polsce oraz jedną z pierwszych w Europie skonstruowali bydgoscy inżynierowie Zakładu Doświadczalnego Biura Urzędzeń Techniki Jądrowej (obecnie firma **POLON-ALFA**) w pierwszej połowie lat 60 pod nazwą handlową CJR-4 (Rys. 2) [7].



Rys. 2.  
Pierwsza polska jonizacyjna  
czujka dymu CJR-4  
(produkcji POLON-ALFA)

Kolejną skonstruowaną czujką w bydgoskim zakładzie to czujka CJR-10, która od lat 70 ubiegłego wieku była sprzedawana w bardzo dużych ilościach (łącznie około 150 tys. sprzedanych sztuk).

Do dzisiejszego dnia firma **POLON-ALFA** konstruuje i produkuje jonizacyjne czujki dymu, których na przestrzeni prawie 60 lat sprzedano ponad milion sztuk (w Tabeli nr 7 można znaleźć zestawienie jonizacyjnych czujek dymu, który były produkowane przez firmę **POLON-ALFA** wraz z typem i aktywnością źródła promieniotwórczego).

## DLACZEGO CZUJKI JONIZACYJNE...

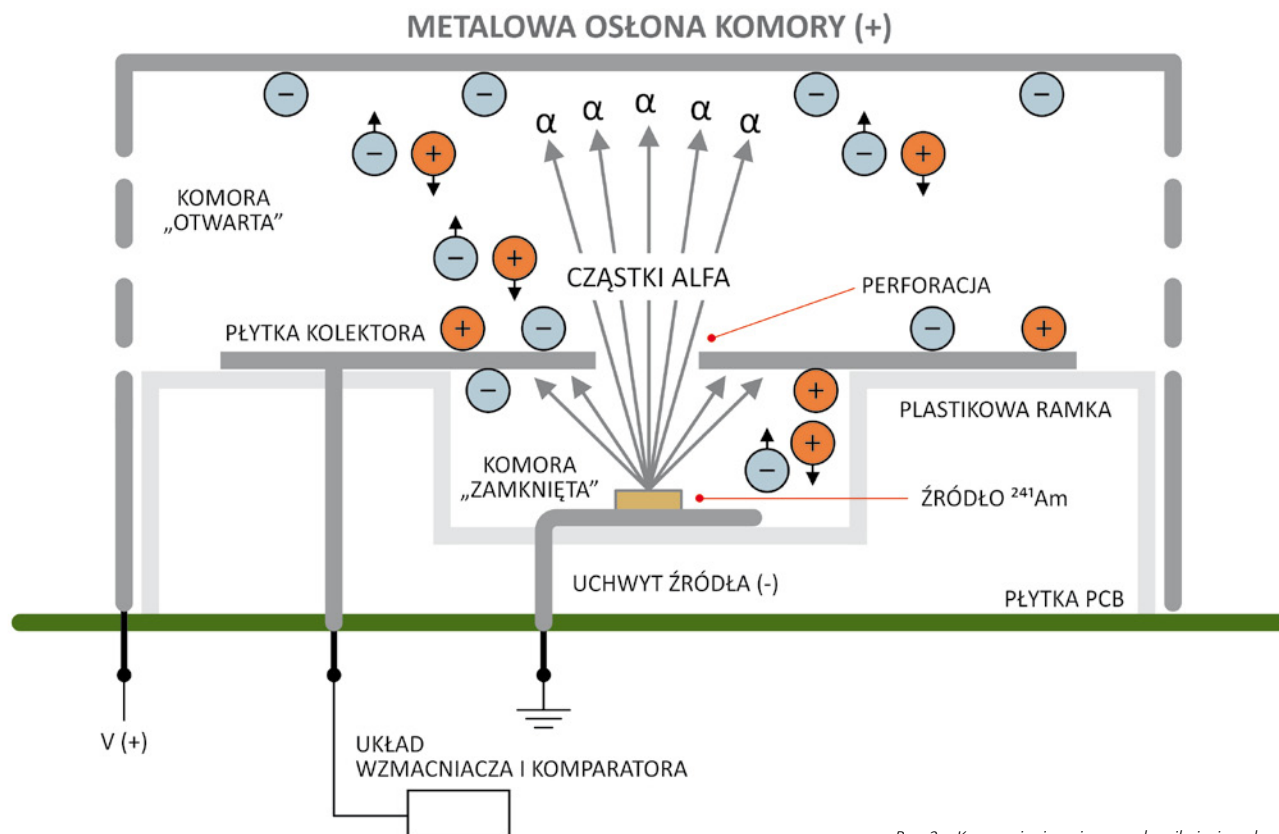
Jonizacyjne czujki dymu są szczególnie przydatne do wykrywania cząstek o małej wielkości, zawartych w dymie, jaki występuje podczas szybko rozprzestrzeniających się pożarów płomieniowych. Z drugiej strony są nieco mniej czułe na większe cząstki znajdujące się w gęstym optycznie dymie, który może powstawać przy tleniu się materiałów. Niemniej jednak są także przydatne do wykrywania tego typu pożarów, co powoduje, że są czujkami uniwersalnego zastosowania.

Zachowanie się poszczególnych czujek w pożarach testowych na podstawie szybkości ich reakcji jest określane w cztero-stopniowej skali:

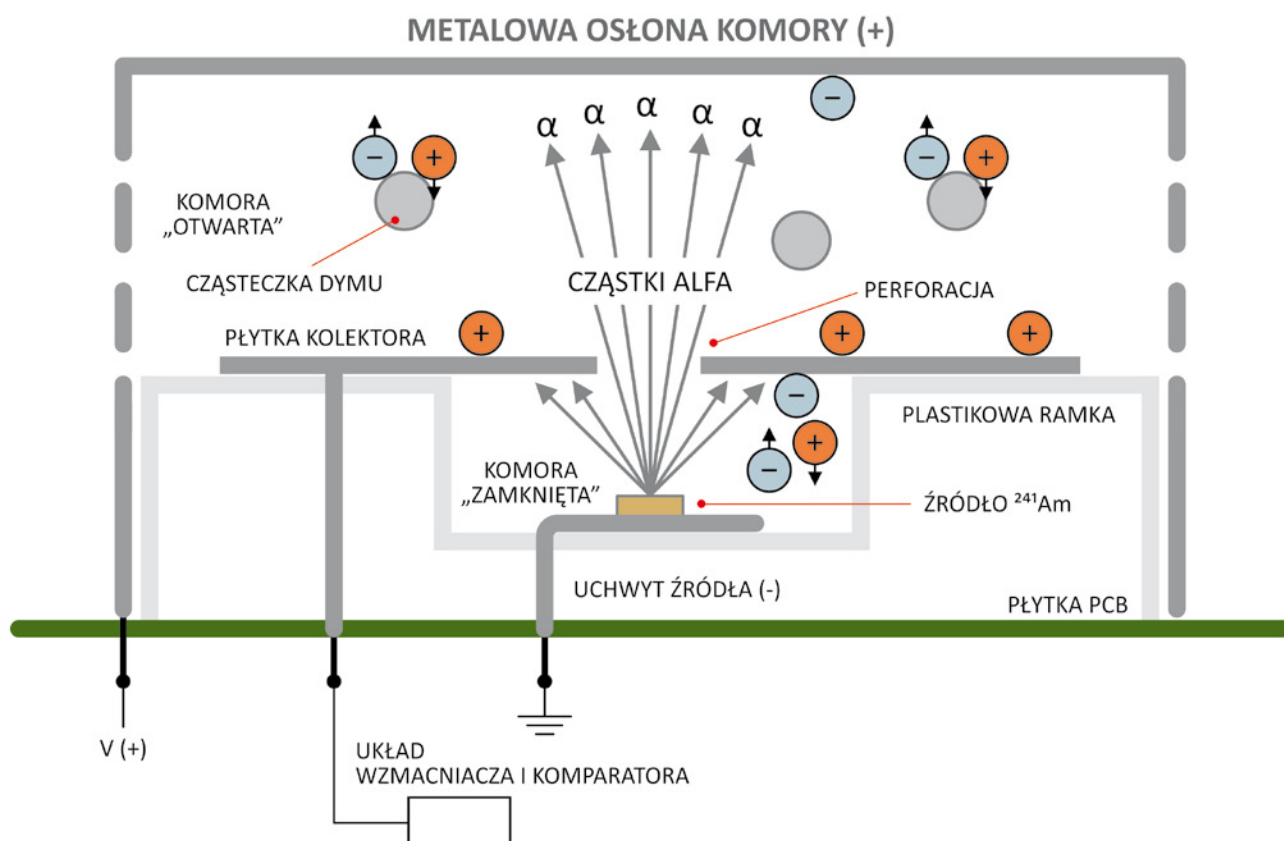
A – bardzo przydatna, B – przydatna, C – jeszcze przydatna, N – nie przydatna.

W przypadku pożarów testowych TF1 i TF4 czujki jonizacyjne mają przydatność klasy A, a w pozostałych pożarach klasy B. Test TF1 najbardziej odpowiada warunkom początkowego palenia się drewna, papieru i pożarów powstałych w wyniku zapalenia się materiałów łatwo palących się.

Ze względu na stosunkowo prosty w budowie układ pomiarowy czujki jonizacyjnej w porównaniu do innych rodzajów czujek dymu, cechuje je duża niezawodność działania. Czujki jonizacyjne są również bardzo odporne na zmienne czynniki śro-



Rys. 3a. Komora jonizacyjna przed wniknięciem dymu.



Rys. 3b. Komora jonizacyjna po wnikięciu dymu.

dowiskowe pracy. Dobrze więc znoszą cięższe warunki pracy i mogą dłużej w takich warunkach pracować (przy zachowaniu obowiązkowych okresowych przeglądów konserwacyjnych instalacji).

## ZASADA DZIAŁANIA KOMORY JONIZACYJNEJ CZUJKI

Jonizacyjna czujka dymu wykorzystuje zjawisko jonizacji atomów powietrza przez cząstki alfa, które są emitowane przez źródło promieniowania jonizującego umieszczone wewnątrz czujki.

Komora czujki (Rys. 3) podzielona jest de facto na dwie części (komory) poprzez perforowaną płytkę kolektora. Jedna z komór jest otwarta na dopływ powietrza atmosferycznego, natomiast druga jest oddzielona od bezpośredniego strumienia powietrza. Na płytce kolektora dokonywany jest pomiar różnicy ładunków między dwiema komorami. Cząsteczki alfa emitowane przez źródło  $^{241}\text{Am}$  zderzają się z cząsteczkami tlenu i azotu w powietrzu znajdującym się w komorach jonizacyjnych czujki. Rozbijają je odpowiednio na dodatnio i ujemnie naładowane jony. W celu przyspieszenia ładunków wzdłuż linii sił pola elektrycznego, jedna z elektrod (metalowa osłona komory) utrzymywana jest na wyższym poziomie potencjału.

W ten sposób następuje przepływ ładunków elektrycznych do odpowiednich elektrod (jony ujemne do elektrody o potencjale dodatnim i odwrotnie), który nazywamy prądem jonizacji. W normalnym trybie działania, gdy strumień prądu elektrycznego jest stały w obu komorach, to elektryczny potencjał w punkcie pomiarowym na płytce kolektora jest w równo-

wadze. Dym wnika do jednej z komór powoduje nierównowagę prądową pomiędzy otwartą a zamkniętą komorą. Dzieje się tak, ponieważ elektrony są częściowo wychwytywane bądź przyciągane przez cząsteczki dymu, które przejmują rolę nośników ładunku elektrycznego (ujemnych jonów). Cząsteczki dymu są relatywnie ciężkie i odznaczają się wobec tego stosunkowo małą ruchliwością. Wzrasta więc prawdopodobieństwo, że nie dotrą do elektrod wskutek procesu rekombinacji (proces odwrotny do jonizacji, polegający na połączeniu się pary cząstek lub jonów o przeciwnych ładunkach elektrycznych).

W konsekwencji strumień prądu elektrycznego w komorach zaczyna być różny co do wartości natężenia, a potencjał elektryczny na płytce kolektora jest już poza stanem równowagi.

Zmiana wspomnianego potencjału jest mierzona przez układ elektroniczny detektora, co skutkuje uruchomieniem alarmu w postaci sygnalizacji optyczno-akustycznej.

## JAKIE ŹRÓDŁO PROMIENIOTWÓRCZE WYKORZYSTYWANE JEST W JONIZACYJNEJ CZUJCE DYMU?

Jonizacyjna czujka dymu wykorzystuje zjawisko zależności między natężeniem prądu jonizacyjnego i stężeniem dymu w komorze jonizacyjnej. Jak już wspomniano, umieszczając właśnie źródło promieniotwórcze w komorze pomiędzy różnie naładowanymi elektrodami można zaobserwować zjawisko jonizacji powietrza i zmierzyć przepływ prądu jonizacyjnego.

TYP PROMIENIOWANIA	ENERGIA ROZPADU [MeV]	NATĘŻENIE (udział procentowy w rozpadach) [%]
alfa	5,486	85
alfa	5,443	13
alfa	5,388	2
gamma	0,059	36
gamma	0,018	18
gamma	0,014	13
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

Tabela 1. Podstawowe wartości energii rozpadów dla  $^{241}\text{Am}$

CZAS PÓŁROZPADU $T_{1/2}$	432,7 LAT
Maksymalny zasięg prom. alfa w powietrzu (dla $E_\alpha = 5,4 \text{ MeV}$ )	4 cm
Maksymalny zasięg prom. alfa w wodzie/tkance ludzkiej (dla $E_\alpha = 5,4 \text{ MeV}$ )	0,06 cm

Tabela 2. Podstawowe własności fizyczne dla  $^{241}\text{Am}$

W produkowanych obecnie przez firmę **POLON-ALFA** czujkach dymu typu DIO, jako element promieniotwórczy wykorzystywany jest izotop Ameryku-241 ( $^{241}\text{Am}$ ) o aktywności 7,4 kBq, pod chemiczną postacią dwutlenku ameryku ( $\text{AmO}_2$ ).

$^{241}\text{Am}$  emituje głównie kwanty promieniowania alfa, które tracą swą energię na drodze kilku centymetrów wskutek jonizacji cząsteczek powietrza, w wyniku, której powstają wolne elektrony i dodatnio naładowane jony.

Wybór emiterów alfa do zastosowań w czujkach dymu nie jest przypadkowy, ponieważ ze wszystkich rozsądnie dostępnych rodzajów promieniowania, kwanty alfa posiadają największą zdolność jonizacji i zarazem najmniejszy zasięg. Promieniowanie gamma emitowane przez izotop  $^{241}\text{Am}$  ma charakter szczątkowy i jest do pominięcia [8] (Tabela 1).

Izotop odpowiednio usytuowany i zamocowany w jonizacyjnej czujce dymu nie stanowi więc zagrożenia, jeżeli chodzi o promieniowanie, które jest emitowane i mogłoby docierać do osoby przebywającej w sąsiedztwie urządzenia (Tabela 2).

Ponadto poziom promieniowania jonizującego w bezpośrednim sąsiedztwie czujki jonizacyjnej oraz w punkcie pomiarowym zlokalizowanym na powierzchni obudowy samej czujki nie jest wyższy niż poziom naturalnego tła promieniowania

jonizującego, pochodzącego głównie od promieniowania kosmicznego oraz od pierwiastków radioaktywnych obecnych w glebie, skałach, powietrzu i wodzie.

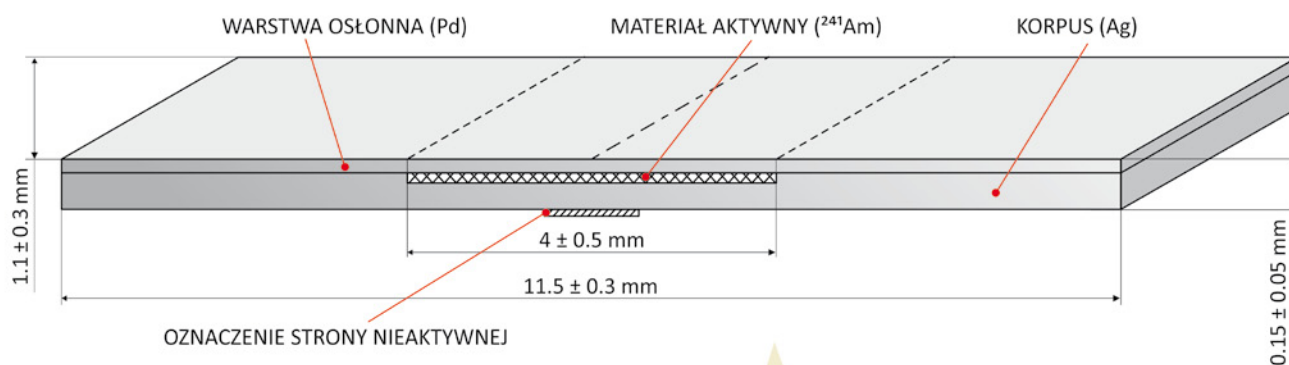
## BUDOWA ŹRÓDŁA PROMIENIOTWÓRCZEGO

Osobie, która nigdy bezpośrednio nie widziała źródła promieniotwórczego zapewne jest trudno wyobrazić sobie jego budowę oraz kształt.

W licznych modelach opisujących zjawiska fizyczne autorzy posługują się często pewnym przybliżeniem w postaci kształtu sfery i tak na ogół może się kojarzyć źródło promieniotwórcze.

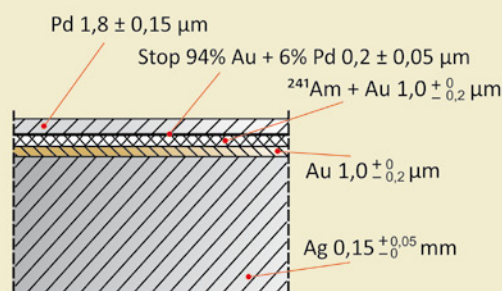
Czy tak jest w rzeczywistości w kontekście elementów promieniotwórczych występujących w czujkach? Najczęściej konstruktorzy i projektanci czujek używają źródeł, które występują w postaci struktury kilku ściśle przylegających do siebie warstw, niczym przysłowiowa kanapka (ang. sandwich structure).

Na Rys. 4 przedstawiona jest budowa i struktura źródła  $^{241}\text{Am}$  (7,4 kBq) wykorzystywanego w czujce typu DIO.



ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA  $^{241}\text{Am}$   
 AKTYWNOŚĆ 7,4 kBq ± 10%  
 ENERGIA CZĄSTEK ALFA 4.8 MeV

#### WIDOK PRZEKOJU



Pd - pallad | Au - złoto | Ag - srebro |  $^{241}\text{Am}$  - ameryk

Rys. 4. Budowa źródła  $^{241}\text{Am}$  wykorzystywanego w czujce typu DIO

Źródło promieniotwórcze zastosowane w czujce DIO posiada strukturę warstwową. Na spodzie tej struktury znajduje się podłoże wykonane ze srebra (Ag) o grubości około 0,15 mm (150 μm). Bezpośrednio na materiale ze srebra (Ag) napyłona jest warstwa złożona ze złota (Au) o grubości 1 μm. Dopiero na tak przygotowanym podłożu napyłony jest element promieniotwórczy w postaci Ameryku-241 ( $^{241}\text{Am}$ ) wraz z domieszką złota (Au).

Część aktywna jest wbudowywana w warstwę złota w procesie napyłania w warunkach wysokiej próżni. Bezpośrednio ponad tym elementem znajduje się cienka warstwa stopu złota (Au) z palladem (Pd). Warstwa złota (Au) w wyniku zjawiska absorpcji redukuje maksymalną energię kwantów  $^{241}\text{Am}$  w przybliżeniu do energii 4,8 MeV. Na samym wierzchu struktury widnieje warstwa palladu (Pd) o grubości około 1,8 μm.

Sama konstrukcja złożona z kolejnych warstw jest odporna na wyciek bądź wydostanie się substancji radioaktywnej po-

zez perforację czy też inną najmniejszą przestrzeń. Warstwa wierzchnia musi być więc na tyle cienka, aby przepuszczać kwanty alfa, ale z drugiej strony powinna tworzyć pewną fizyczną barierę przed wydostaniem się elementu promieniotwórczego poza objętość struktury. Nie przypadkowo warstwami ograniczającymi izotop  $^{241}\text{Am}$  są metale szlachetne. Metale te są bardzo odporne chemicznie i słabo reagują z innymi pierwiastkami. Stąd też, prawie wcale nie ulegają korozji i nie rozpuszczają się w większości kwasów. Ponadto nie reagują z wodą ani z gorącą parą wodną. Metale szlachetne są również odporne na działanie stężonego kwasu solnego i innych kwasów beztlenowych [9].

W kontekście wykorzystania źródła o charakterze warstwowym w jonizacyjnej czujce dymu, warto przyjrzeć się temperaturom topnienia oraz wrzenia metali ograniczających warstwę promieniotwórczą jak i samego elementu aktywnego (Tabela 3).

MATERIAŁ	TEMP. TOPNIENIA °C	TEMP. WRZENIA °C
pallad (Pd)	1554,9	2963
złoto (Au)	1064,18	2856
srebro (Ag)	961,78	2162
dwutlenek ameryku ( $\text{AmO}_2$ )	1176	2600

Tabela 3. Temperatury topnienia oraz wrzenia dla materiałów wykorzystywanych w budowie źródła  $^{241}\text{Am}$



Analizując dane z Tabeli 3, można wyciągnąć wniosek, że w przypadku spalania takiej warstwowej struktury wraz z elementem promieniotwórczym, przy pożarze o temperaturze nawet kilkuset stopni źródło nie ulegnie dekompozycji.

Zgodnie z raportem OECD [10] *“Recommendations for Ionization Chamber Smoke Detectors in Implementation of Radiation Protection Standards”* mniej niż 1 % źródła  $^{241}\text{Am}$  z jonizacyjnej czujki dymu zostało uwolnione podczas pożaru o temperaturze 925°C, co jak podkreślono we wnioskach końcowych raportu, oznacza, że źródło zachowało swą pierwotną postać i nie uległo dyspersji.

Warto również zwrócić uwagę, że źródło w postaci chemicznej  $\text{AmO}_2$  posiada zbliżone temperatury topnienia oraz wrzenia do ograniczających strukturę źródła metali szlachetnych.

Rozpatrując temperaturę wrzenia, w której ciało stałe przechodzi w stan fazy gazowej, można zauważyć, że każdy z pierwiastków sublimuje w temperaturze powyżej 2000°C.

W przypadku nawet całkowitego spalania źródła promieniotwórczego nie dojdzie więc do emisji gazu promieniotwórczego oraz jego inhalacji przez człowieka.

## W JAKI SPOSÓB BADANE JEST ŹRÓDŁO PROMIENIOTWÓRCZE?

W przypadku źródła promieniotwórczego, które jest wykorzystywane w jonizacyjnej czujki dymu, powinno się ono cechować jak najwyższą integralnością w zakresie swej fizycznej struktury w połączeniu z relatywnie niedużym stopniem osłabienia emitowanego promieniowania poprzez odpowiedni dobór technologii i materiału. Generalnie zasada opiera się na zapewnieniu bezpieczeństwa dla użytkowników oraz funkcjonalności w danej aplikacji, przy czym bezpieczeństwo zawsze jest traktowane, jako priorytetowe. W przypadku jonizacyjnej czujki dymu mamy do czynienia z tzw. zamkniętym źródłem promieniotwórczym, które zgodnie z ustawą Prawo Atomowe [11] nazywamy takie źródło, które: „*posiada taką budowę, która w warunkach określonych dla jego stosowania uniemożliwia przedostanie się do środowiska zawartej w nim substancji promieniotwórczej*”.

W dokumencie normatywnym wydanym przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną pod tytułem: „*Ochrona radiologiczna. Zamknięte źródła promieniotwórcze. Wymagania ogólne i klasyfikacja PN-EN ISO 2919: 2014*”, określono

BADANIE	1	2	3	4	5	6	X
Temperatura	Bez badania	- 40°C (20 min) ÷ + 80°C (1h)	- 40°C (20 min) ÷ + 180°C (1h)	- 40°C (20 min) ÷ + 400°C (1h) i szok termiczny do 20°C	- 40°C (20 min) ÷ + 600°C (1h) i szok termiczny do 20°C	- 40°C (20 min) ÷ + 800°C (1h) i szok termiczny do 20°C	Badanie specjalne <sup>3)</sup>
Ciśnienie zewnętrzne	Bez badania	25 kPa ciśnienia absolutnego <sup>1)</sup> do ciśnienia atmosferycznego	25 kPa ciśnienia absolutnego ÷ 2 MPa ciśnienia absolutnego	25 kPa ciśnienia absolutnego ÷ 7 MPa ciśnienia absolutnego	25 kPa ciśnienia absolutnego ÷ 70 MPa ciśnienia absolutnego	25 kPa ciśnienia absolutnego ÷ 170 MPa ciśnienia absolutnego	Badanie specjalne
Uderzenie <sup>4)</sup>	Bez badania	50 g z wysokości 1 m lub równoważnik przekazanej energii	200 g z wysokości 1 m lub równoważnik przekazanej energii	2 kg z wysokości 1 m lub równoważnik przekazanej energii	5 kg z wysokości 1 m lub równoważnik przekazanej energii	20 kg z 1 m lub równoważnik przekazanej energii	Badanie specjalne
Wibracja	Bez badania	3 razy po 10 min w przedziale częstotliwości (25 ÷ 500) Hz z przyspieszeniem <sup>2)</sup> 49 m/s <sup>2</sup> (5 gn)	3 razy po 10 min w przedziale częstotliwości (25 ÷ 50) Hz z przyspieszeniem 49 m/s <sup>2</sup> (5 gn) i w przedziale (50 ÷ 90) Hz przy amplitudzie 0,635 mm od piku do piku i w przedziale częstotliwości (90 ÷ 500) Hz z przyspieszeniem 98 m/s <sup>2</sup> (10 gn) <sup>1)</sup>	3 razy po 30 min w przedziale częstotliwości (25 ÷ 80) Hz przy amplitudzie 1,5 mm od piku do piku amplitudy i w przedziale częstotliwości (80 ÷ 2000) Hz z przyspieszeniem 196 m/s <sup>2</sup> (20 gn) <sup>1)</sup>	nie używane	nie używane	Badanie specjalne
Przebicie <sup>5)</sup>	Bez badania	1 g z 1 m lub równoważnik przekazanej energii	10 g z 1 m lub równoważnik przekazanej energii	50 g z 1 m lub równoważnik przekazanej energii	300 g z 1 m lub równoważnik przekazanej energii	1 kg z 1 m lub równoważnik przekazanej energii	Badanie specjalne

<sup>1)</sup> Ciśnienie bezwzględne.

<sup>2)</sup> Przyspieszenie w piku amplitudy.

<sup>3)</sup> Badanie specjalne – szczegóły procedury badawczej podane są w dokumencie ISO 2919 i ANSI N43.6-1997.

<sup>4)</sup> Badanie uderzenia – źródło umiejscowione jest na stalowym kowadłe, uderzone jest przez stalowy młotek o wymaganym ciężarze; młotek posiada płaską powierzchnię uderzeniową o średnicy 25 mm z zaokrąglonymi brzegami.

<sup>5)</sup> Badanie odporności na przebicie - źródło umiejscowione jest na wzmocnionym stalowym kowadłe; uderzone jest przez wzmocnione stalowe ostrze o długości 6 mm i średnicy 3 mm ostrze z półsferycznym zakończeniem; przymocowane jest do młotka o wymaganym ciężarze.

Tabela 4. Wykaz warunków badań środowiskowych dla zamkniętych źródeł promieniotwórczych

system klasyfikacji zamkniętych źródeł promieniotwórczych oparty na przeprowadzonych badaniach. Określono tam wymagania, co do badań i kontroli jakościowej wyrobu, znakowania i certyfikacji.

W normie określono zestaw badań, na podstawie których, producent zamkniętych źródeł promieniotwórczych może ocenić bezpieczeństwo swojego produktu a użytkownik takich źródeł może wybrać takie, które są odpowiednie do wymagań konkretnej aplikacji. Jest to ważne w szczególności, gdy pod uwagę należy wziąć ochronę przed uwolnieniem materiału promieniotwórczego, prowadzącym do ekspozycji na promieniowanie jonizujące.

Badania podzielone są na kilka grup, obejmujących na przykład działanie skrajnie wysokiej i niskiej temperatury oraz różnorodnie badania mechaniczne. Kryterium pozytywnego lub negatywnego wyniku badań zależy od upływności zawartego w zamkniętym źródle promieniotwórczym materiału [12]. W celu przejścia badań z pozytywnym wynikiem, zamknięte źródło promieniotwórcze powinno posiadać niezmienną aktywność (z poprawką na czas półrozpadu) po każdym przeprowadzonym badaniu i jednocześnie przejść przypisaną kontrolę szczelności.

Każde badanie może być zaaplikowane w pewnej skali trudności, która wyrażona jest poprzez pięciocyfrowy kod. Wyniki dla badania danego źródła są zasadniczo opisane według wzorca:

C 12345 (jedna litera i pięć cyfr), gdzie litery to C lub E.

Litera C wskazuje na aktywność, która nie przekracza limitów ustalonych dla danego izotopu ze względu na jego radiotoksyczność i rozpuszczalność jego fizycznej postaci.

Litera E wskazuje z kolei na przekroczenie wyżej wspomnianych limitów, co do aktywności.

Kolejne pięć cyfr wskazują odpowiednio najwyższą klasę badania (im wyższa cyfra tym warunki badania są ostrzejsze) w zakresie temperatury, ciśnienia, udarów, wibracji oraz odporności na przebicie.

W Tabeli nr 4 przedstawiono wykaz warunków badań środowiskowych wraz z numerami klas zapisanymi w porządku coraz ostrzejszych warunków badań [12].

Zgodność z badaniami jest zdeterminowana przez możliwości zamkniętych źródeł do utrzymania szczelności. Wszystkie źródła zamknięte, po wyprodukowaniu powinny być poddane badaniu potwierdzające brak skażeń powierzchniowych. Należy je wykonać zgodnie z jednym z badań określonych w pkt. 5.3 dokumentu ISO 9978:1992 „Ochrona radiologiczna - Promieniotwórcze źródła zamknięte - Metody badania szczelności”.

W przypadku źródła <sup>241</sup>Am używanego w jonizacyjnej czujce dymu typu DIO producent źródeł przeprowadza następujące badania:

1. badanie metodą wymazu na mokro (ang. *wet wipe test*) przy umiarkowanym ciśnieniu, aktywność na sączku została wyznaczona jako poniżej 185 Bq (zgodnie z ISO 9978, 5.3.1);
2. badanie metodą wymazu na sucho (ang. *dry wipe test*) przy umiarkowanym ciśnieniu, aktywność na sączku została wyznaczona jako poniżej 185 Bq (zgodnie z ISO 9978, 5.3.2);
3. badanie specjalne (nie opisane przez producenta).

Ponadto, oprócz wyżej wymienionych podstawowych badań szczelności producent źródeł przeprowadza następujące badania [13]:

1. badanie zanurzeniowe w płynie przy temperaturze 50°C przez 4h; aktywność została określona w płynie i wynosiła poniżej 185 Bq (zgodnie z ISO 9978 pkt. 5.1.1);
2. badanie zanurzeniowe w płynie o temperaturze 70°C przez okres 30 minut w urządzeniu generującym ultradźwięki; aktywność została określona w płynie i wynosiła poniżej 185 Bq (zgodnie z ISO 9978 pkt. 5.1.1, adnotacja nr 3);
3. badanie zanurzeniowe w płynie o temperaturze 100°C przez okres 10 minut; źródło jest naprzemiennie schładzane i zanurzane w płynie (czynność powtarzana dwa razy); aktywność została określona w płynie i wynosiła poniżej 185 Bq (zgodnie z ISO 9978 pkt. 5.1.2);
4. badanie zanurzeniowe w płynie o temperaturze 20°C przez okres 24 h; aktywność została określona w płynie i wynosiła poniżej 185 Bq (zgodnie z ISO 9978 pkt. 5.1.4);
5. badanie metodą emanacji gazu przy zredukowanym poziomie ciśnienia przez okres 24h w komorze o małych wymiarach; aktywność w komorze została wyznaczona za pomocą techniki scyntylicyjnej i wynosiła poniżej 370 Bq (zgodnie z ISO 9978 pkt. 5.2.3);
6. badanie pęcherzykowo próżniowe - próba szczelności w odpowiednio przygotowanym płynie przy ciśnieniu około 20 kPa przez okres 2 minut; nie zostały zaobserwowane żadne pęcherzyki; poziom wycieku był poniżej 1 μPa m<sup>3</sup>/s (zgodnie z ISO 9978 pkt. 6.2.1);
7. badanie pęcherzykowo próżniowe - próba szczelności w odpowiednio przygotowanym płynie o temperaturze 95°C (destylowana woda) lub w temperaturze 150°C przez okres 2 minut (gliceryna); nie zostały zaobserwowane żadne pęcherzyki; poziom wycieku był poniżej 1 μPa m<sup>3</sup>/s (zgodnie z ISO 9978 pkt. 6.2.2);
8. badanie specjalne;
9. badanie metodą wymazu na mokro przy umiarkowanym ciśnieniu; aktywność substancji na sączku została wyznaczona i wynosi poniżej 185 Bq.

W normie PN-EN ISO 2919:2014 „Ochrona radiologiczna - Zamknięte źródła promieniotwórcze - Wymagania ogólne i klasyfikacja” określono również poziomy aktywności zamkniętych źródeł, dla każdej z czterech grup radiotoksyczności podanych w Załączniku A, poniżej których nie jest wymagana oddzielna ocena sposobu użytkowania oraz konstrukcji źródła.

Źródła zamknięte o aktywności przewyższającej określone poziomy powinny być przedmiotem dodatkowej oceny sposobu użytkowania oraz konstrukcji. W takich przypadkach należy uwzględnić ocenę wpływu ognia, eksplozji oraz korozji. W kontekście źródła promieniotwórczego stosowanego w czujkach typu DIO (<sup>241</sup>Am) mamy do czynienia z zaszerogowaniem do pierwszej grupy radiotoksyczności oraz niską aktywnością, co skutkuje brakiem potrzeby uwzględnienia oceny wpływu ognia, eksplozji czy korozji.

W Tabeli nr 5 na podstawie dokumentu PN-EN ISO 2919:2014 przedstawiono listę podstawowych typowych zastosowań zamkniętych źródeł promieniotwórczych wraz z wykazem proponowanych dla nich badań [12]. Badania te stanowią minimalne wymagania odpowiadające bardzo szerokiemu zakresowi zastosowań źródeł.

ZASTOSOWANIE ŹRÓDŁA ZAMKNIĘTEGO		KLASA ŹRÓDŁA ZAMKNIĘTEGO, W ZALEŻNOŚCI OD BADANIA				
		TEMPERATURA	CIŚNIENIE	UDAR	WIBRACJE	ODPORNOŚĆ NA PRZEBIECIE
Radiografia przemysłowa	Źródło stosowane bezpośrednio	4	3	5	1	1
	Źródło stosowane w urządzeniu	4	3	5	1	1
Medycyna	Radiografia	3	2	3	1	1
	Telegammaterapia	5	3	5	2	2
	Brachyterapia <sup>1)</sup>	5	3	2	1	1
	Aplikatory powierzchniowe <sup>2)</sup>	4	3	3	3	3
Urządzenia pomiarowo-kontrolne promieniowania gamma (średnia i wysoka energia)	Źródło stosowane bezpośrednio	4	3	3	3	3
	Źródło stosowane w urządzeniu	4	3	2	3	3
Urządzenia pomiarowo-kontrolne promieniowania beta oraz źródła do urządzeń pomiarowo-kontrolnych promieniowania gamma o niskiej energii lub do rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej <sup>2)</sup>		3	3	2	2	2
Profilowanie otworów wiertniczych		5	6	5	2	2
Przenośne urządzenia pomiarowo-kontrolne mierniki wilgotności i gęstości (wraz z urządzeniami transportowymi ręcznie lub na wózkach)		4	3	3	3	3
Ogólne zastosowania źródeł neutronowych (bez źródeł do rozruchu reaktorów)		4	3	3	2	2
Źródła kalibracyjne o aktywności > 1 MBq		2	2	2	1	1
Źródła gamma do napromieniaczy	Kategoria I	4	3	3	2	2
	Kategoria II, III i IV <sup>3)</sup>	5	3	4	2	2
Generatory jonów	Chromatografia	3	2	2	1	1
	Eliminatory ładunków statycznych	2	2	2	2	2
	Czujki dymu <sup>2)</sup>	3	2	2	2	2

<sup>1)</sup> Źródła tego typu mogą w trakcie pracy podlegać groźnym deformacjom. Producenti i użytkownicy mogą życzyć sobie podania dodatkowych lub specjalnych procedur badań.

<sup>2)</sup> Bez źródeł gazowych.

<sup>3)</sup> Badaniu poddane może być „źródło zamontowane” lub „źródło z uchwytem”.

Tabela 5.

Wykaz podstawowych typowych zastosowań źródeł promieniotwórczych wraz z wykazem proponowanych dla nich badań - kolorem szarym wyróżniono wymagania stawiane jonizacyjnym czujkom dymu.



Jonizacyjna czujka dymu znajduje się kategorii „Generatory jonów” - urządzenia te powinny zawierać zamknięte źródła promieniotwórcze, co najmniej o klasie: C 32222 (w Tabeli 5 kolorem szarym wyróżniono minimalne wymagania stawiane jonizacyjnym czujkom dymu). W tym miejscu należy podkreślić, że typ źródła promieniotwórczego używanego w kontekście jonizacyjnych czujek dymu typu DIO produkcji **POLON-ALFA** spełnia znacznie bardziej ostre wymagania badań zgodne z kodem C 64444:

Zamknięte źródła zostały również skategoryzowane przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej [MAEA] w dokumencie pod nazwą „*Categorization of radioactive sources: Revision of IAEA-TECDOC-1191*” [14] w kontekście relacji ich rzeczywiście używanych aktywności w danych aplikacjach, do minimalnych niebezpiecznych poziomów aktywności źródeł (takich, które mogą spowodować poważne obrażenia bądź uszczerbek dla zdrowia człowieka).

Zdefiniowany współczynnik to iloraz  $\frac{A}{D}$ , gdzie A to aktywność źródła a D to minimalna niebezpieczna aktywność.

Dla źródła  $^{241}\text{Am}$  używanego w jonizacyjnej czujce dymu typu DIO mamy następujące dane:

$$A = 7,4 \text{ kBq} (7,4 \times 10^3 \text{ Bq})$$

czyli aktywność źródła promieniotwórczego w obecnie stosowanych jonizacyjnych czujkach dymu typu DIO

oraz

$$D = 0,06 \text{ TBq} (0,06 \times 10^{12} \text{ Bq})$$

czyli minimalna wartość określona przez MAEA dla izotopu  $^{241}\text{Am}$ , która powoduje poważne obrażenia.

Zatem wstawiając wartości otrzymano:

$$\frac{A}{D} = \frac{7,4 \times 10^3 \text{ Bq}}{0,06 \times 10^{12} \text{ Bq}} = 0,124 \times 10^{-6} = 0,000000124$$

Dla współczynnika  $\frac{A}{D}$  określono również jego wartości [Tabela 6], dzieląc na kategorie od najbardziej niebezpiecznej (kategoria 1 i wartość powyżej 1000) do najbardziej bezpiecznej (kategoria 5 i wartość mniejsza niż 0,01).

KATEGORIA	WSPÓŁCZYNNIK $\frac{A}{D}$
1	> 1000
2	10 - 1000
3	1 - 10
4	0,01 - 1
5	< 0,01

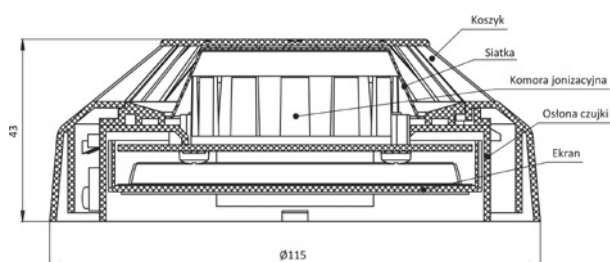
Tabela 6. Wartości współczynnika  $\frac{A}{D}$

Biorąc pod uwagę powyższe wartości współczynnika  $\frac{A}{D}$  dla źródła  $^{241}\text{Am}$  (7,4 kBq) wartość 0,000000124 jest na tyle mała, że źródło zaklasyfikowane jest do kategorii nr 5.

Oznacza to, że źródło używane w jonizacyjnych czujkach dymu typu DIO należy do kategorii źródeł bardzo bezpiecznych ze względu na ich wykorzystanie praktyczne, w porównaniu do minimalnych niebezpiecznych poziomów aktywności źródeł.

## BUDOWA MECHANICZNA JONIZACYJNEJ CZUJKI DYMU (NA PRZYKŁADZIE CZUJKI DIO-4046)

Na Rys. 5 przedstawiono konstrukcję mechaniczną jonizacyjnej czujki dymu typu DIO-4046 [15]:



Rys. 5 Konstrukcja i wymiary [mm] czujki DIO-4046

Zasadniczą częścią czujki jest układ detekcyjny składający się z komory jonizacyjnej podzielonej na dwie mniejsze części (komory) wraz ze źródłem promieniowania ( $^{241}\text{Am}$ ). Sama komora mocowana jest bezpośrednio do płytki drukowanej, zawierającej elektronikę z procesorem nadzorującym pracę czujki.

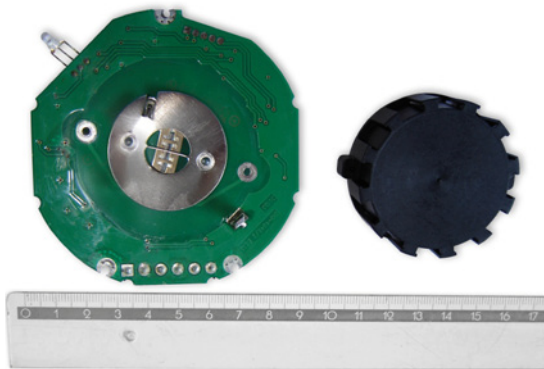
Całość umieszczona jest w obudowie wykonanej z polichloroku winylu oraz polistyrenu. Pod obudową znajdują się kolejne części ochronne: koszyk, osłona czujki oraz ekran.

Ponadto metalowa siatka zapobiega wnikaniu do układu detekcyjnego drobnych owadów i większych zanieczyszczeń (Rys. 6).



Rys. 6. Jonizacyjna czujka dymu typu DIO-4046 produkcji POLON-ALFA - widok od strony siatki zabezpieczającej komorę jonizacyjną i wskaźnika zadziałania.

Wniknięcie dymu do czujki powoduje zmianę stanu równowagi prądowej dwóch szeregowo połączonych komór jonizacyjnych (Rys. 7) w których powietrze jonizowane jest źródłem  $^{241}\text{Am}$ .



Rys. 7. Elektroda wewnętrzna (po lewej stronie) i zewnętrzna (po prawej stronie) komory jonizacyjnej czujki dymu typu DIO-4046 produkcji POLON-ALFA

Źródło  $^{241}\text{Am}$  o aktywności 7,4 kBq typu APSD-HME, to cienka struktura warstwowa jak na Rys. 8 o wymiarach 11,5 x 1,1 x 0,2 [mm].



Rys. 8. Widok strony aktywnej w jednolitym kolorze srebrnym (po lewej stronie) oraz strony nieaktywnej z czarnym znacznikiem i żółtawym paskiem (po prawej stronie)

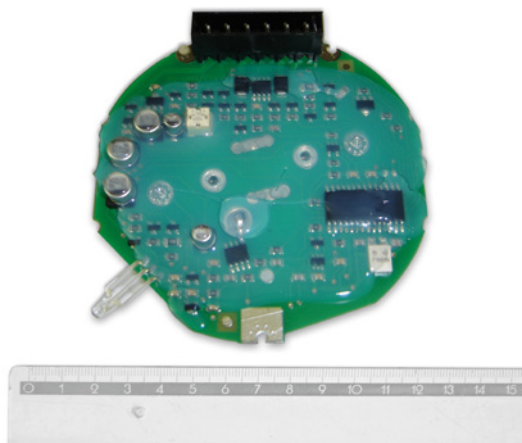
Element promieniotwórczy osadzony jest w warstwie wraz z małą domieszką złota (Au). Warstwa ta jest umiejscowiona pomiędzy podłożem wykonanym ze srebra [Ag] i cienką powłoką ze stopu złota (Au) oraz platyny (Pd). Strona nieaktywna zaznaczona jest czarnym znacznikiem z żółtawym paskiem, a strona aktywna jest koloru srebrzystego bez jakichkolwiek oznaczeń (Rys. 8). Źródło przymocowane jest do specjalnego metalowego uchwytu, który jest pokazany na Rys. 9:



Rys. 9. Uchwyt źródła promieniotwórczego (po lewej stronie); strona aktywna i nieaktywna źródła  $^{241}\text{Am}$  (7,4 kBq); typ APSD-HME-7,4

Znajdujący się w czujce wskaźnik optyczny informuje, że czujka znajduje się w stanie alarmowania. Wskaźnik ten umożliwia szybką lokalizację alarmującej czujki i stanowi pomoc przy okresowym sprawdzaniu jej działania. Jeżeli czujka jest źle widoczna lub zainstalowana w trudno dostępnym miejscu, można ją wyposażyć w dodatkowy wskaźnik optyczny, zainstalowany w dostępnym i widocznym miejscu.

Mikroprocesor sterujący pracą czujki, sprawdza poprawność działania jej podstawowych układów i w razie stwierdzenia nieprawidłowości przekazuje stosowne informacje do centrali.



Rys. 10. Płytkę elektroniczną po zabezpieczeniu elementów elektronicznych lakierem i silikonem /Elastosil E41/

Czujka DIO-4046 jest czujką analogową (sygnał wyjściowy z urządzenia zmienia się w sposób ciągły i podawany jest na wejście układu komparatora) z cyfrowym mechanizmem samoregulacji, tzn. utrzymuje stałą czułość przy postępującym zabrudzeniu komór jonizacyjnych oraz przy zmianach środowiskowych warunków pracy takich jak ciśnienie, temperatura, wilgotność itp. Po przekroczeniu założonego progu alarmu technicznego czujka wysyła do centrali systemu sygnalizacji pożarowej informację o zabrudzeniu jonizacyjnej komory pomiarowej. Sygnał ten jest generowany po to, aby poinformować służby serwisowe, że przy utrzymującej się tendencji zabrudzania i nie podjęcia odpowiednich działań, może dojść w przyszłości do tego, że czujka nie zachowa wszystkich swoich parametrów na deklarowanym poziomie.

Czujka posiada również regulowany poziom czułości:

- tryb pracy 1 – normalna czułość,
- tryb pracy 2 – podwyższona czułość,
- tryb pracy 3 – obniżona czułość.

Tryby pracy czujki (oprócz wariantów alarmowania w centrali) umożliwiają użytkownikowi najlepsze dopasowanie systemu do pracy w określonym środowisku.

Na powierzchni czujki (Rys. 11) powinny się znajdować co najmniej następujące dane (na przykładzie jonizacyjnej czujki dymu DIO-4046):

- numer normy [EN 54-7];
- nazwa i znak wytwórcy [POLON-ALFA oraz logo];
- typ wyrobu [DIO-4046];
- numer seryjny z kodem paskowym zawierający kod identyfikacyjny;
- znak ostrzegawczy przed promieniowaniem zgodny z PN-79/J-08002;

- nazwa izotopu i jego aktywność [Am 241 7,4 kBq];
- wartość progu zadziałania Y [Y ~ 0,7];
- nr deklaracji właściwości użytkowych urządzenia [DoP 1/E281-1/2013/PL];
- numer certyfikatu CNBOP [1438/CPD/0015 CNBOP];
- nr aktualnego zezwolenia PAA na produkcję i obrót handlowy [PAA Nr D-15704];
- zakodowana data produkcji oraz numer seryjny urządzenia [KOD 281-1 SB 001307];
- oznakowanie MADE IN POLAND;
- oznakowanie CE;
- tekst - „*UWAGA: Zabrania się osobom nieupoważnionym rozmontowywać czujkę. Po zakończeniu eksploatacji czujkę należy przekazać do producenta lub uprawnionej jednostki organizacyjnej.*”



Rys. 11. Elementy obudowy (tabliczka znamionowa) jonizacyjnej czujki dymu typu DIO-4046

## BADANIA I KONTROLA JAKOŚCI JONIZACYJNEJ CZUJKI DYMU

Jonizacyjne czujki dymu typu DIO przechodzą szereg badań w dziale kontroli jakości, których celem jest weryfikacja stawianych im wymagań.

Wszystkie czynności sprawdzające mają na końcu ten sam cel: dostarczyć sprawnie działającą czujkę.

Generalnie typ badania można podzielić na dwa rodzaje:

- badania niepełne (badanie wyrobu), które należy wykonywać w celu stwierdzenia, czy w wyprodukowanej czujce nie popełniono przypadkowych błędów;
- badania pełne (badanie typu), które należy wykonywać w celu uzyskania wyczerpującej oceny czujki pod względem budowy, zastosowanych materiałów, wykonania oraz właściwości eksploatacyjnych; badania pełne należy wykonywać przed każdymi badaniami atestacyjnymi w CNBOP (Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej - Państwowy Instytut Badawczy im. Józefa Tuliszkowskiego) oraz po każdej zmianie materiałów, metod technologicznych lub konstrukcji, która może mieć ujemny wpływ na wynik badania; w przypadku zmiany materiałów można wykonać tylko te badania, które są niezbędne dla uzyskania właściwej oceny przydatności wprowadzonej zmiany.

**Badanie niepełne** polega m.in. na sprawdzeniu:

- wymagań ogólnych;
- poboru prądu w stanie dozoru;
- izolowania zwarć i łączenia linii;
- współpracy czujki z centralą sygnalizacji pożarowej;
- wartości progu zadziałania;
- wpływu kierunku przepływu powietrza na wartość progu.



Rys. 12. Tunel parafinowy (kanał dymowy) do sprawdzania wartości progu zadziałania oraz wpływu kierunku przepływu powietrza na wartość progu

**Badanie pełne** (to samo, co w badaniu niepełnym plus rozszerzenie o inne typy badań) polega m.in. na sprawdzeniu:

- wpływu ruchu powietrza;
- stabilności pracy w czasie;
- odporności i wytrzymałości na różny zakres temperatur;
- wytrzymałości na korozję spowodowaną dwutlenkiem siarki;
- wytrzymałości na udary wielokrotne;
- odporności i wytrzymałości na wibracje sinusoidalne;
- kompatybilności elektromagnetycznej;
- zaburzeń radioelektrycznych;
- czułości na pożar;
- źródła promieniowania;
- oraz inne, a tutaj już nie wymienione....

Ponadto wszystkie nowo wyprodukowane jonizacyjne czujki dymu przechodzą tzw. kontrolowany proces starzenia oraz testowania na specjalnie do tego przeznaczonej tablicy (Rys. 13).



Rys. 13. Tablica do starzenia i testowania jonizacyjnych czujek dymu w Dziale Kontroli Jakości POLON-ALFA



## POSTĘPOWANIE Z JONIZACYJNYMI CZUJKAMI DYMU W TRAKCIE EKSPLOATACJI

Zgodnie z § 3 ust. 2 i 3 *Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków innych obiektów budowlanych i terenów* (DzU nr 109, poz. 719) urządzenia przeciwpożarowe i gaśnice powinny być poddawane przeglądom technicznym i czynnościom konserwacyjnym zgodnie z zasadami określonymi w Polskich Normach dotyczących urządzeń przeciwpożarowych i gaśnic, w odnośnej dokumentacji technicznej oraz instrukcjach obsługi. Przeglądy te powinny być przeprowadzane w okresach i w sposób zgodny z instrukcją ustaloną przez producenta, **nie rzadziej jednak niż raz w roku**.

*Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego* [17] nakazuje kontrolę szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych nie rzadziej niż raz na rok kalendarzowy. Kontrolę szczelności można przeprowadzić np. za pomocą zestawu: Radiometr RK-100-2 + Sonda zewnętrzna RK-100 (produkcji **POLON-ALFA**). Należy pamiętać, aby zestaw posiadał aktualne świadectwo wzorcowania wydane przez akredytowane laboratorium wzorcujące urządzeń dozymetrycznych.

Wyniki kontroli szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych rejestruje się w protokole kontroli, który zawiera w szczególności:

- datę kontroli;
- typ i numer zamkniętego źródła promieniotwórczego lub urządzenia zawierającego takie źródło;
- rodzaj izotopu promieniotwórczego, jego aktywność oraz datę określenia aktywności;
- typ i numer przyrządu, którym wykonujemy pomiary;
- wynik pomiaru;
- wynik kontroli;
- nazwę i adres instytucji oraz imię i nazwisko osoby, która przeprowadziła kontrolę.

Kontrolę szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych wykonuje się także po zdarzeniu radiacyjnym oraz innym incydencie mogącym mieć wpływ na szczelność źródła, w szczególności po pożarze, korzystaniu ze źródła przez osobę nieuprawnioną, czasowej utracie posiadania źródła i po odzyskaniu go po kradzieży.

Zgodnie z *Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 6 sierpnia 2002 roku* [18] (*w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowania jonizujące nie podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia*) instalacja oraz konserwacja czujek jonizacyjnych może być wykonywana na podstawie zezwolenia Państwowej Agencji Atomistyki.

## REKOMENDOWANY OKRES EKSPLOATACJI JONIZACYJNYCH CZUJEK DYMU PRODUKOWANYCH PRZEZ **POLON-ALFA**

W odniesieniu do jonizacyjnych czujek dymu wyprodukowanych przed 03-03-1999 roku zalecano 10 letni okres eksploatacji. Takie zalecenie wynikało ze stosowanej wówczas technologii wytwarzania źródeł, a w szczególności rekomendowanego okresu bezpiecznej eksploatacji źródeł podawanej przez ich producentów. Z kolei w odniesieniu do jonizacyjnych czujek dymu wyprodukowanych po 03-03-1999 roku do dnia dzisiejszego zaleca się 15 letni okres eksploatacji, zgodnie z postanowieniem [19] otrzymanym z Państwowej Agencji Atomistyki na wniosek **POLON-ALFA**.

Zalecenia dotyczące okresu eksploatacji jonizacyjnych czujek dymu związane są z bezpieczeństwem eksploatacji stosowanych źródeł promieniotwórczych, przy uwzględnieniu ich budowy, technologii wykonania, warunków eksploatacji, jak również informacji o czujkach eksploatowanych w długich okresach czasu.

Wydłużenie deklarowanego okresu bezpiecznej eksploatacji (do 15 lat), wynika z rekomendowanego przez producenta źródeł czasu eksploatacji źródeł oraz analizy danych o przeprowadzonych na przestrzeni lat 1990-1998 okresowych badaniach szczelności źródeł eksploatowanych w jonizacyjnych czujkach dymu produkowanych przez **POLON-ALFA**. Po upływie deklarowanego okresu eksploatacji (15 lat), czujki mogą być wycofane z użytkowania lub nadal eksploatowane pod warunkiem potwierdzenia przez uprawnionego instalatora prawidłowego działania w systemie sygnalizacji pożarowej i zachowania szczelności stosowanego źródła promieniotwórczego.

Przedłużanie okresu eksploatacji w pewnych przypadkach może być ekonomicznie nieuzasadnione ze względu na brak możliwości naprawy lub wymiany elementów takiej instalacji na nowe (zakończono produkcję).

W przepisach ustawy Prawo Atomowe nie występują ograniczenia w stosunku do czasu eksploatacji źródeł promieniotwórczych lub urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze (jonizacyjne czujki dymu). Istnieje jednak, tak jak wcześniej podkreślono obowiązek ich okresowej kontroli.

## POSTĘPOWANIE Z JONIZACYJNYMI CZUJKAMI DYMU WYCOFANYMI Z EKSPLOATACJI

Jonizacyjne czujki dymu nie zostały sklasyfikowane w *Ustawie o zużyтым sprzęcie elektrycznym i elektronicznym z dnia 29 lipca 2005 r.* (Dz. U. 2005, Nr 180, poz. 1495). Zabronione jest więc przekazywanie jonizacyjnych czujek dymu do punktów zbierających zużyty sprzęt elektryczny lub składowisk odpadów komunalnych.

Jonizacyjne czujki dymu należą do urządzeń zawierających zamknięte źródła promieniotwórcze, dlatego po zakończeniu eksploatacji należy je traktować jako odpad promieniotwórczy.

Sposób postępowania z odpadami promieniotwórczymi i ich klasyfikację reguluje *Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo Atomowe (tekst jednolity Dz.U. z 2017r. poz. 576)* [11].

## JAK USTALIĆ KATEGORIĘ ODPADU PROMIENIOTWÓRCZEGO DLA JONIZACYJNEJ CZUJKI DYMU? \_\_\_\_\_

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego [20] określa szczegółowe przesłanki kwalifikowania odpadów promieniotwórczych do kategorii i podkategorii.

W rozdziale 2 par. 3 ustawodawca uszczegóławia, iż zdefiniowane są różne kategorie odpadów promieniotwórczych oraz podkategorie zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych. Poza tym w rozdziale 7 art. 47 pkt. 2 ustawy Prawo Atomowe, widnieje następujący zapis: *„Wycofane z użytkowania (zużyte) zamknięte źródła promieniotwórcze tworzą dodatkową kategorię odpadów promieniotwórczych”*.

Wobec powyższego, użytkownik urządzenia ze źródłem promieniotwórczym powinien rozemniać na podstawie warunków kwalifikacji określonych w przedmiotowym dokumencie, czy ma do czynienia z odpadem promieniotwórczym, zużytym zamkniętym źródłem promieniotwórczym bądź jednym i drugim jednocześnie. Istnieje również opcja, że urządzenie nie zostanie zakwalifikowane do żadnej z kategorii. Na przykładzie jonizacyjnej czujki dymu typu DIO-4046 przeanalizowano, z którym wariantem mamy do czynienia, rozpoczynając od warunków kwalifikacji dla odpadów promieniotwórczych.

W rozdziale 2 par. 4 pkt. 1 ustawodawca przyjął następującą podstawę kwalifikacji do kategorii odpadów promieniotwórczych:

*„Odpady promieniotwórcze kwalifikuje się do kategorii odpadów promieniotwórczych nisko aktywnych, jeżeli stężenie promieniotwórcze izotopu promieniotwórczego w tych odpadach przekracza wartość określoną w załączniku nr 1 do rozporządzenia, ale nie więcej niż dziesięć tysięcy razy.”*

W celu weryfikacji, powyższego warunku należy przeprowadzić odpowiednie wyliczenia:

**DANE (na przykładzie czujki DIO-4046):**

$$A_{DIO-4046} = 7,4 \text{ kBq}$$

(aktywność źródła promieniotwórczego  $^{241}\text{Am}$  używanego w czujce DIO-4046)

$$m_{DIO-4046} = 0,15 \text{ kg}$$

(masa odpadu – masa całkowita czujki DIO-4046)

Uwzględniając powyższe dane, stężenie promieniotwórcze  $C_{Am-241}$  dla  $^{241}\text{Am}$  występującego w czujce DIO-4046, wynosi:

$$C_{Am-241} = \frac{A_{DIO-4046}}{m_{DIO-4046}} = \frac{7,4 \text{ kBq}}{0,15 \text{ kg}} = 49,3 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$$

Wartość stężenia promieniotwórczego  $C_k$  dla izotopu  $^{241}\text{Am}$  wymieniona w załączniku nr 1 do rozporządzenia wynosi:

$$C_k = 1 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$$

Pozostaje tylko sprawdzić czy zgodnie z rozdziałem 2 par. 4 pkt. 1 *„stężenie promieniotwórcze izotopu promieniotwórczego w tych odpadach przekracza wartość określoną w załączniku nr 1 do rozporządzenia, ale nie więcej niż dziesięć tysięcy razy”*:

$$\frac{C_{Am-241}}{C_k} = \frac{49,3 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}}{1 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}} = 49,3$$

$$1 < \frac{C_{Am-241}}{C_k} < 10000$$

Stężenie promieniotwórcze dla izotopu  $^{241}\text{Am}$  w czujce DIO-4046 przekracza wartość z załącznika nr 1 prawie 50 krotnie. Wartość ta jest jednak mniejsza niż 10000, wobec tego mamy do czynienia z *nisko aktywnym odpadem promieniotwórczym*.

Teraz pozostało rozemniać czy mamy do czynienia ze zużytym zamkniętym źródłem promieniotwórczym. Zgodnie z art. 3, pkt. 54a Ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo Atomowe (tekst jednolity Dz.U. z 2017r. poz. 576) zamkniętym źródłem promieniotwórczym nazywamy *„źródło promieniotwórcze o takiej budowie, która w warunkach określonych dla jego stosowania uniemożliwia przedostanie się do środowiska zawartej w nim substancji promieniotwórczej”*. Z kolei w art. 3 pkt. 56 te same ustawy można znaleźć definicję źródła promieniotwórczego, jako: *„substancję promieniotwórczą przygotowaną do wykorzystywania jej promieniowania jonizującego”*.

Zgodnie z par. 9 pkt. 1 Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego ustawodawca wprowadza kwalifikację do podkategorii zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych, gdzie jako pierwsze są zdefiniowane źródła: *„nisko aktywne - jeżeli aktywność zawartych w nich izotopów promieniotwórczych przekracza wartości określone w załączniku nr 1 do rozporządzenia, ale nie przekracza wartości  $10^8 \text{ Bq}$ ”*.

W załączniku nr 1 aktywność dla  $^{241}\text{Am}$  - wynosi  $10^4 \text{ Bq}$ , czyli 10 kBq. Źródło w jonizacyjnej czujce dymu DIO-4046 posiada aktywność 7,4 kBq. Jest to wartość mniejsza od przytoczonych wyżej dwóch wartości aktywności ( $10^8 \text{ Bq}$  oraz  $10^4 \text{ Bq}$ ). Bez kwalifikacji do podkategorii nisko aktywnych, nie ma już potrzeby rozpatrywać kategorii o wyższych wartościach aktywności granicznych, czyli: średnio aktywne i wysoko aktywne. Po zakończeniu eksploatacji źródło promieniotwórcze  $^{241}\text{Am}$  (7,4 kBq) wykorzystywane w czujce DIO-4046 jest więc zużytym zamkniętym źródłem promieniotwórczym, ale ze względu na małą aktywność nie można go zaszeregować do żadnej z podkategorii.

Wcześniej już stwierdzono, że w przypadku jonizacyjnej czujki dymu DIO-4046 mamy do czynienia z nisko aktywnym odpadem promieniotwórczym, więc należy postępować zgodnie z wytycznymi ustawy Prawo Atomowe i odpowiedniego rozporządzenia.

Jonizacyjne czujki dymu powinny być demontowane przez uprawnionego instalatora wyposażonego w sprzęt do monitorowania skażeń alfa-promieniotwórczych przy zachowaniu odpowiednich środków ochrony osobistej.

Nie należy dopuścić do demontażu przez osoby nieprzeszkolonej (przy niewłaściwym postępowaniu występuje możliwość rozprzestrzenienia się skażeń otoczenia i osób).



Jonizacyjne czujki dymu po zakończeniu eksploatacji należy przekazać do Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP):

Zakład Unieszkodliwiania  
Odpadów Promieniotwórczych

05-400 OTWOCK - ŚWIERK

tel.: 22 718 00 92

fax: 22 718 02 57

e-mail: zuop@zuop.pl

www.zuop.pl

## TROCHĘ DANYCH STATYSTYCZNYCH

Raport organizacji OECD [10] pt. „*Recommendations for Ionization Chamber Smoke Detectors in Implementation of Radiation Protection Standards*” wskazuje, że 40 % przypadków śmiertelnych spowodowanych pożarem można byłoby zapobiec, gdyby budynki mieszkalne były zabezpieczone jonizacyjnymi czujkami dymu. Z kolei w pracy Gratza i Wawkinsa [21] wskazuje się na 39 % zmniejszenie odsetka zgonów a według danych US National Fire Data Center [22] to aż 50 %. Podobne wyniki dotyczyły również potencjalnie mniejszych strat w kontekście dobytku w przypadku użycia jonizacyjnych czujek dymu.

Powyższy raport OECD [10] podaje dane statystyczne, gdzie na populację obejmującą milion osób w ciągu jednego roku występuję 18 zdarzeń związanych z pożarem - 70 % z nich

występuję w prywatnych domach, mieszkaniach i gospodarstwach domowych. Jeżeli te dane zastosowalibyśmy do wspomnianego powyżej procentowego zmniejszenia odsetka zgonów, to w ciągu roku dzięki czujkom statystycznie możemy mówić o 10 uratowanych osobach, przyjmując optymistyczne założenie, że jedna osoba brała udział w jednym pożarze.

Powołując się na powyższe dane, w opracowaniu [23] „*Domestic smoke detectors - a radioactive waste problem? - Mike Carter and Associates*” oszacowano, że stosunek redukcji wypadków śmiertelnych w pożarach dzięki stosowaniu jonizacyjnej czujki dymu a możliwymi uszczerbkami na zdrowiu spowodowanymi przez źródło promieniotwórcze wynosi 500:1.

W przypadku uszczerbków na zdrowiu wzięto pod uwagę wszystkie nawet najmniej prawdopodobne, ale jednak teoretycznie możliwe sytuacje, takie jak połknięcie źródła, dostanie się oparów promieniotwórczych drogą wziewną bądź promieniowanie z samego źródła.

Jonizacyjna czujka dymu oraz źródło promieniotwórcze, które jest jej nieodłącznym elementem, tak jak przedstawiono w artykule przechodzi przez szereg licznych badań, finalnie mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika. Należy jednak pamiętać o podstawowych obowiązkach wynikających z obowiązującego ustawodawstwa, które nakazują okresową kontrolę i konserwację jonizacyjnych czujek dymu. Przestrzegając wszystkich procedur, zmniejszamy prawdopodobieństwo jakiegokolwiek zdarzenia radiacyjnego, a równocześnie zwiększamy szansę, że czujka pozwoli uratować zdrowie bądź życie człowieka.

Daniel Jankowski  
Specjalista ds. dozymetrii  
POLON-ALFA Sp. z o.o. Sp.k.

 POLON-ALFA



**Wykaz jonizacyjnych czujek dymu produkcji POLON-ALFA wraz z typami i aktywnościami użytych źródeł promieniotwórczych.**

L.P.	NAZWA URZĄDZENIA	TYP	STOSOWANE IZOTOPY		
			<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu	<sup>241</sup> Am
			kBq	kBq	kBq
1	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-10		148	185
2	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-10A		185	
3	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-20		740	
4	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-20A		740	
5	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-20B		740	
6	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-10B		740	
7	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-10C		740	740
8	Jonizacyjna czujka dymu	CJR-10B-3		740	
9	Jonizacyjna czujka dymu (od 1978 r.)	DIO-30		550 + 740	
10	Jonizacyjna czujka dymu (od 1984 r.)	DIO-30	740		
11	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-30-2	740		
12	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-10Ex		740	
13	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-30Ex		740	
14	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-31	260		
15	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-31Ex	260		
16	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-10A			40
17	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-10AEx			40
18	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-2193			40
19	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-2196			40
20	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-31A			40
21	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-31A-2			40
22	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-31A-2Ex			40
23	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-31AEx			40
24	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-36			40
25	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-36-2			40
26	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-37			7,4
27	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-37Ex			7,4
28	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-40			7,4
29	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-4043			7,4
30	Jonizacyjna czujka dymu	DIO-4046			7,4

Tabela 7 - Wykaz jonizacyjnych czujek dymu produkcji Polon - Alfa wraz z typami i aktywnościami użytych źródeł promieniotwórczych [24]

- [1]. <http://silversecurity.co.uk/smoke-alarm-history/>
- [2]. <http://www.mysmokealarm.org/history-of-smoke-alarms/>
- [3]. MadeHow.com, *How smoke detector is made*, 09 06 2014.
- [4]. Jones Hilton Ira: *Peeps at Things to Come*, The Rotarian Rotary International, 2014-11-27, Tom 86 (4).
- [5]. <http://www.nfpa.org/news-and-research/publications/nfpa-journal/2013/march-april-2013/features/where-theres-smoke>
- [6]. <http://www.hvfd6.org/files/news/1218/White%20Paper%20Smoke%20Alarms.pdf>
- [7]. Zdzisław Szymkowiak inż. Marian Ciaciuch: 40 lat techniki jądrowej w Bydgoszczy (1957-1997), Zakład Urządzeń Dozymetrycznych POLON-ALFA Sp. z o.o.
- [8]. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp156-c4.pdf>
- [9]. [http://www.ezag.com/home/products/isotope\\_products/industrial\\_sources/](http://www.ezag.com/home/products/isotope_products/industrial_sources/)
- [10]. NEA OECD, *Recommendations for Ionization Chamber Smoke Detectors in Implementation of Radiation Protection Standards*, 1977.
- [11]. *Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo Atomowe*, (Dz.U. 2001 nr 3 poz. 18).
- [12]. *Ochrona radiologiczna. Zamknięte źródła promieniotwórcze. Wymagania ogólne i klasyfikacja PN-EN ISO 2919: 2014.*
- [13]. <http://www.ezag.com/home/>
- [14]. *Categorization of radioactive sources: Revision of IAEA-TECDOC-1191.*
- [15]. Materiały firmy POLON-ALFA - dokumentacja konstrukcyjna jonizacyjnej czujki DIO 4046.
- [16]. *Norma zakładowa ZN-POLON-ALFA E278:1999.*
- [17]. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz.U. 2006 nr 140 poz. 994).*
- [18]. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 sierpnia 2002 r. w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia.*
- [19]. *Państwowa Agencja Atomistyki, Zezwolenie na przedłużenie eksploatacji izotopowych czujek dymu produkcji POLON-ALFA, Warszawa, 03.03.1999.*
- [20]. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego.*
- [21]. E. Gratz David B., Hawkins Raymond: *Evaluation of smoke detectors In Homes. Interim Report Phase 1.* Washington, Federal Emergency Management Agency, US Fire Administration, 1980.
- [22]. Center National Fire Data, *Report to Congress on Fire Protection Systems*, Washington, US Fire Administration, 1981.
- [23]. Consultans Mike Carter and Associates Radiation Safety, *Domestic smoke detectors – a radioactive waste problem?*, 23 Cassandra Crescent, Heathcote, NSW 2233 Australia.
- [24]. <http://www.polon-alfa.pl/pl/aparatura-dozymetryczna/przydatne-informacje-techniczne#zuzyty>