

Janusz HENSCHKE, Krzysztof ISAJENKO,
Paweł KRAJEWSKI

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Warszawa, styczeń-luty 2011



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

SPIS TREŚCI

ROZDZIAŁ 1 – WSTĘP	7
ROZDZIAŁ 2 – PRZEPISY PRAWNE	8
2.1. Przepisy międzynarodowe	8
2.1.1. Traktat EURATOM	8
2.1.2. Dyrektywy Unii Europejskiej	10
2.1.3. Rozporządzenia, decyzje i zalecenia Unii Europejskiej	11
2.1.4. Inne Konwencje i umowy międzynarodowe	12
2.2. Polskie przepisy prawne	15
2.2.1. Ustawa PRAWO ATOMOWE	15
2.2.1.1. Rozdział I – „Przypisy ogólne”	16
2.2.1.2. Rozdział II – „Zezwolenia w zakresie bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej”	18
2.2.1.3 Rozdział III – „Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna oraz ochrona zdrowia pracowników”	20
2.2.1.4 Rozdział IIIa – „Stosowanie promieniowania jonizującego w celach medycznych”	24
2.2.1.5 Rozdział IV – „Obiekty jądrowe”	26
2.2.1.6 Rozdział V – „Materiały i technologie jądrowe”	27
2.2.1.7 Rozdział VI – „Źródła promieniowania jonizującego”	30
2.2.1.8 Rozdział VII – „Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe”	31
2.2.1.9 Rozdział VIII – „Transport materiałów jądrowych, źródeł promieniowania jonizującego, odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego”	32
2.2.1.10 Rozdział VIIIA – „Przywóz na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, wywóz z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej oraz tranzyt przez to terytorium odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego”	32
2.2.1.11 Rozdział IX – „Nadzór i kontrola w zakresie przestrzegania warunków bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej”	33
2.2.1.12 Rozdział X – „Ocena sytuacji radiacyjnej kraju”	36

2.2.1.13 Rozdział XI – „Postępowanie w przypadku zdarzeń radiacyjnych”	37
2.2.1.14 Rozdział XII – „Odpowiedzialność cywilna za szkody jądrowe”	38
2.2.1.15 Rozdział XIII – „Prezes Państwowej Agencji Atomistyki”	39
2.2.1.16 Rozdział XIV – „Państwowe Przedsiębiorstwo Użyteczności Publicznej „Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych””	41
2.2.1.17 Rozdział XV – „Administracyjne kary pieniężne i przepisy karne”	41
2.2.1.18 ZAŁĄCZNIKI do Prawa Atomowego	43
2.2.2. Przepisy wykonawcze do Ustawy PRAWO ATOMOWE	44
2.2.3. KODEKS PRACY	60
ROZDZIAŁ 3 – SZKOLENIE I NADAWANIE UPRAWNIENÍ	61
ROZDZIAŁ 4 – WIELKOŚCI DOZYMETRII PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO	72
ROZDZIAŁ 5 – OCENA NARAŻENIA, DAWKI GRANICZNE	87
ROZDZIAŁ 6 – PRZYRZĄDY DOZYMetryczne	100
6.1. Detektory promieniowania jonizującego	101
6.1.1. Detektory gazowe	103
6.1.1.1. Komora jonizacyjna	104
6.1.1.2. Licznik proporcjonalny	106
6.1.1.3. Licznik Geigera-Müllera	107
6.1.2. Detektory półprzewodnikowe	110
6.1.3. Detektory scyntylacyjne	114
6.2. Przykładowe przyrządy dozymetryczne	117
6.2.1. Radiometr RKP-2	117
6.2.1.1. Sonda SSA-1P	119
6.2.2. Monitor skażeń radioaktywnych EKO-C	120
6.2.3. Radiometr RUM-2	122
6.2.4. Radiometr uniwersalny RUST-3	124
6.2.4.1. Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-3-2	125

6.2.4.2. Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-70-2	127
6.2.5. Radiometr DPO	130
6.2.6. Radiometr RK-100	132
6.2.7. Monitor promieniowania gamma i neutronowego PM-1401GN	134
6.2.8. Wielofunkcyjny monitor promieniowania PM-1401K	136
ROZDZIAŁ 7 – ZASADY BEZPIECZNEJ PRACY Z PROMIENIOWANIEM JONIZUJĄCYM	140
7.1. Wprowadzenie	140
7.2. System ochrony radiologicznej	142
7.3. Osłony przed promieniowaniem	144
7.4. Zasada „ALARA”	146
7.5. Znaki ostrzegawcze przed promieniowaniem	147
7.5.1. Nowy symbol promieniowania jonizującego	150
7.6. Praca z promieniowaniem – personel	153
7.7. Wymagania techniczne i wymagania ochrony radiologicznej dotyczące pracowni wykonujących prace z promieniowaniem	155
7.7.1. Pracownie źródeł zamkniętych (klasy Z)	159
7.7.2. Pracownie izotopowe klasy III	163
7.7.3. Pracownie izotopowe klasy II	164
7.7.4. Pracownie izotopowe klasy I	165
7.7.5. Wykorzystywanie źródeł promieniowania w terenie (poza pracownią)	165
7.8. Kontrola i ewidencja źródeł promieniowania jonizującego	166
ROZDZIAŁ 8 – KONTROLA NARAŻENIA PRACOWNIKÓW	170
ROZDZIAŁ 9 – OCENA DAWEK OD ŚRODOWISKA NATURALNEGO	175
9.1. Wprowadzenie	175
9.2. Charakterystyka promieniowania jonizującego	176
9.3. Promieniowanie kosmiczne i powstawanie radionuklidów w atmosferze	178
9.3.1. Radionuklidy kosmogeniczne	179
9.4. Radionuklidy w środowisku naturalnym, żywności i w organizmie człowieka	181

9.4.1. Przykładowe poziomy pierwiastków promieniotwórczych w Środowisku	182
9.5. Radionuklidy naturalne w skorupie ziemskiej – szeregi Promieniotwórcze	185
9.5.1. Powstawanie radionuklidów naturalnych	185
9.5.2. Występowanie	186
9.5.3. Uwalnianie się radionuklidów naturalnych do środowiska w wyniku działalności człowieka	188
9.5.3.1. Kopalnictwo uranu	188
9.5.3.2. Wydobycie i spalanie węgla	188
9.5.4. Datowanie obiektów biologicznych, archeologicznych i wód	194
9.6. Radon i jego pochodne	194
9.6.1. Zagrożenie człowieka	196
9.7. Skażenie środowiska w wyniku wybuchów jądrowych w atmosferze, działalności przemysłu w tym przemysłu jądrowego i awarii jądrowych	198
9.7.1. Przerób rud fosforanowych i produkcja nawozów sztucznych	199
9.7.2. Wydobycie i przerób ropy naftowej i gazu	200
9.7.3. Inne gałęzie przemysłu	200
9.7.4. Przemysł jądrowy	200
9.7.5. Próbne wybuchy jądrowe	203
9.7.6. Awarie jądrowe i wypadki z substancjami promieniotwórczymi	204
ROZDZIAŁ 10 – PRZEPISY TRANSPORTOWE	210
10.1. Podstawy prawne	210
10.2. Podział towarów niebezpiecznych, zasady przewozu	211
10.3. Pojazdy i opakowania	216
10.4. Kierowcy przewożący towary niebezpieczne	219
10.5. Postępowanie w sytuacjach awaryjnych	221
10.6. Nadzór i kontrola	221
ROZDZIAŁ 11 – ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE	225
11.1. Sposób kwalifikowania odpadów promieniotwórczych do kategorii i podkategorii	228

11.2. Sposób prowadzenia ewidencji i kontroli odpadów promieniotwórczych oraz wzór karty ewidencyjnej	231
11.3. Warunki przechowywania odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego i wymogi, jakim muszą odpowiadać obiekty, pomieszczenia i opakowania przeznaczone do przechowywania poszczególnych kategorii odpadów promieniotwórczych	232
ROZDZIAŁ 12 – ZDARZENIA RADIACYJNE	235
Wykaz literatury	242
ZAŁĄCZNIK 1 – SŁOWNICZEK PODSTAWOWYCH POJĘĆ	245
ZAŁĄCZNIK 2 – TABELI I WYKRESY	258

ROZDZIAŁ 1

WSTĘP

Każdy z nas na co dzień styka się z różnymi rodzajami promieniowania. Wiele z tych rodzajów promieniowań człowiek odczuwa dzięki swoim zmysłom. I tak jest nam ciepło, gdy nasze ciało poddawane jest promieniowaniu cieplnemu, mimowolnie mrużymy oczy, gdy pada na nie zbyt intensywne promieniowanie cieplne itp. Jednak w naszym otoczeniu istnieje jeszcze jeden rodzaj promieniowania, wobec którego zmysły człowieka zawodzą całkowicie. Jest to promieniowanie jonizujące, promieniowanie wobec którego wszystkie nasze zmysły pozostają obojętne. Jest to promieniowanie, którego w żaden sposób bez pomocy specjalistycznej aparatury nie jesteśmy w stanie zauważyć. I może dlatego tego rodzaju promieniowania człowiek najbardziej się obawia.

Z drugiej strony panuje w naszym społeczeństwie opinia, że promieniowanie jonizujące jest stosunkowo nowym elementem naszego środowiska, które człowiek do niego wprowadził niewiele ponad 100 lat temu. Nic bardziej mylnego. Promieniowanie jonizujące powstało wraz z powstaniem wszechświata, na Ziemi istniało od zawsze. A to co uważamy za początek istnienia promieniowania w naszym środowisku jest niczym innym jak pojawieniem się w środowisku człowieka promieniowania jonizującego pochodzenia sztucznego. I rzeczywiście promieniowanie pochodzenia sztucznego odkrył i wytworzył człowiek w początkach XX wieku, „uzupełniając” w ten sposób obecność w naszym środowisku naturalnego promieniowania jonizującego o jego sztuczną składową.

Dzisiaj oprócz naturalnego promieniowania jonizującego, otacza nas wszędzie i na co dzień promieniowanie jonizujące pochodzenia sztucznego. Wykorzystujemy go w wielu elementach naszego życia codziennego, w technice i medycynie, w wojskowości i energetyce. Pomaga ono człowiekowi w codziennym życiu. Aparaty rentgena, izotopowe czujki dymu, elektrownie jądrowe czy bomby kobaltowe w szpitalach to nic innego niż właśnie przykłady wykorzystania promieniowania jonizującego w otoczeniu człowieka. Z drugiej strony największa awaria w historii energetyki jądrowej, jaka wydarzyła się w elektrowni w Czarnobylu w 1986 roku dostarczyła do naszego środowiska izotopów promieniotwórczych pochodzenia sztucznego, które stały się wszechobecne, a z którymi wcześniej człowiek nie miał styczności.

Czy w takim razie mamy możliwość na ochronę przed tym nieodczuwalnym przez nasze zmysły, czasami bardzo groźnym, elementem wszechobecnym w naszym środowisku. Niniejszy podręcznik pokaże nam najważniejsze elementy dotyczące ochrony przed promieniowaniem.

Materiał umieszczony w podręczniku stanowi pomoc w opanowaniu tematyki obowiązującej na egzaminie dla kandydatów starających się o uprawnienia **INSPEKTORA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ**. To było naszym podstawowym celem przy tworzeniu tego podręcznika.

ROZDZIAŁ 2

PRZEPISY PRAWNE DOTYCZĄCE OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

Od kilku lat Polska jest członkiem Unii Europejskiej, co nakłada na Rząd naszego kraju wdrażanie wielu przepisów unijnych do naszego polskiego prawodawstwa. Przepisy unijne są przyjmowane w naszym kraju w bezpośredniej formie (takiej jaka obowiązuje w UE) albo tworzone są u nas nowe przepisy oparte na przepisach unijnych. Także nasze przepisy prawne, które w całości tworzy nasz Rząd nie mogą być w sprzeczności z przepisami Wspólnoty Europejskiej.

W rozdziale tym zajmiemy się omówieniem podstawowych przepisów prawnych (zarówno europejskich jak i naszych), obowiązujących w Polskim prawodawstwie.

2.1. Przepisy międzynarodowe

2.1.1. Traktat EURATOM

Najważniejszym aktem prawnym w dziedzinie bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej obowiązującym we wszystkich krajach Unii Europejskiej jest **Traktat EURATOM**. Został podpisany w Rzymie 25 marca 1957 roku. Jest to Traktat ustanawiający Europejską Wspólnotę Energii Atomowej (EWEA) i obok Traktatu ustanawiającego Europejską Wspólnotę Gospodarczą był jednym z Traktatów założycielskich Wspólnot Europejskich. Jest źródłem tzw. prawa pierwotnego, co oznacza, że obowiązuje bezpośrednio w krajach członkowskich Unii Europejskiej bez potrzeby wprowadzania go krajowymi przepisami prawnymi.

Według tego Traktatu głównym zadaniem Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej jest przyczynianie się do podwyższania poziomu życia w państwach członkowskich i rozwijania stosunków z innymi państwami poprzez ustanowienie warunków niezbędnych do stworzenia i szybkiego rozwoju przemysłu jądowego (Art. 1). Aby urzeczywistnić to zadanie, Traktat nakazuje tworzenie jednolitych norm bezpieczeństwa mających chronić zdrowie pracowników i ludności oraz zapewnienie stosowania tych norm (Art. 2).

W Traktacie EURATOM uregulowane są także kwestie rozwoju badań jądowych, rozpowszechniania wiedzy technicznej (w tym patentów i wzorów użytkowych), ochrony zdrowia i bezpieczeństwa, inwestycji jądowych, zaopatrzenia użytkowników z państw członkowskich w rudy i paliwo jądowe, nadzoru nad wykorzystaniem materiałów jądowych do celów określonych Traktatem. Traktat reguluje także sprawy związane z funkcjonowaniem wspólnego rynku atomowego.

W Traktacie znajdziemy także podstawowe normy ochrony pracowników i ludności przed promieniowaniem jonizującym. W ramach tych norm Traktat definiuje maksymalne dopuszczalne dawki promieniowania, które nie stanowią zagrożenia dla pracowników i ludności, maksymalne dopuszczalne poziomy narażenia na promieniowanie i skażenia oraz

definiuje podstawowe zasady opieki medycznej nad pracownikami narażonymi w swojej pracy na promieniowanie jonizujące (Art. 30). Z czasem normy te uległy rozszerzeniu, obejmując swoim zasięgiem także takie zagadnienia jak informacje o zdarzeniach radiacyjnych, nadzór i kontrolę nad transportem odpadów promieniotwórczym pomiędzy państwami, zagrożenia związane z wykorzystaniem promieniowania jonizującego w celach medycznych, kontrolę źródeł wysokoaktywnych. Traktat określa także maksymalne poziomy skażenia radioaktywnego środków spożywczych i pasz po zdarzeniu radiacyjnym. Podane są w nim także zalecenia dotyczące ochrony ludności przed narażeniem na radon w budynkach oraz wodzie pitnej. Wszystkie te normy opracowuje Komisja Europejska po uzyskaniu opinii grupy ekspertów wyznaczonych przez Komitet Naukowo-Techniczny spośród ekspertów rekomendowanych przez państwa członkowskie UE (Art. 31).

Traktat EURATOM zajmuje się także kwestiami monitoringu radiologicznego środowiska. Nakłada na państwa członkowskie obowiązek utworzenia systemu do prowadzenia takiego monitoringu (chodzi tutaj o kontrolę poziomu radioaktywności powietrza, wód i gleby) oraz systemu do kontroli przestrzegania podstawowych norm z tego zakresu oraz okresowego przekazywania do Komisji Europejskiej wyników tej kontroli (Art. 35 i 36). Poza tym państwa członkowskie są zobowiązane przedstawiać do zaopiniowania przez Komisję Europejską planów składowania odpadów promieniotwórczych. Komisja Europejska jest upoważniona do wydawania zaleceń odnośnie poziomu promieniotwórczości w powietrzu, wodach i glebie, a w razie konieczności do nakazania państwu członkowskiemu UE podjęcia środków niezbędnych do uniemożliwienia naruszania podstawowych norm oraz zapewnienia przestrzegania przepisów.

Art. 77 Traktatu nakłada na Komisję Europejską obowiązek nadzoru nad wykorzystaniem materiałów jądrowych zgodnie z zadeklarowanym przeznaczeniem oraz wypełnianiem zobowiązań przyjętych w tym zakresie przez UE w umowach międzynarodowych. Aby możliwa była realizacja tego obowiązku, Traktat tworzy system kontroli stanu zabezpieczeń materiałów jądrowych w państwach członkowskich UE, sprawowany przez inspektorów delegowanych przez Komisję Europejską do przeprowadzania inspekcji w jednostkach prowadzących działalność, która powinna być kontrolowana (Art. 81 i 82). Władze państwa członkowskiego mają obowiązek zapewnić inspektorom dostęp do miejsc objętych kontrolą.

Jednostki organizacyjne uruchamiające lub eksploatujące instalacje służące do produkcji, rozdzielania lub innego wykorzystania materiałów wyjściowych lub specjalnych materiałów rozszczepialnych lub do przetwarzania napromienionych paliw jądrowych, mają obowiązek zgłaszania do Komisji Europejskiej podstawowych parametrów technicznych takich instalacji (Art. 78).

Komisja Europejska nakłada na kraje członkowskie obowiązki związane z ewidencją materiałów jądrowych (Art. 79).

Za nieprzestrzeganie obowiązków związanych z zabezpieczaniem materiałów jądrowych grożą sankcje nakładane przez Komisję Europejską (egzekwowane przez państwa członkowskie UE). Sankcje te obejmują ostrzeżenia, odebranie szczególnych korzyści (np.

pomoc finansowa, techniczna), objęcie jednostki organizacyjnej zarządem osoby lub rady mianowanej wspólnie przez Komisję Europejską oraz właściwe państwo członkowskie (przez okres nie dłuższy niż cztery miesiące). W skrajnym przypadku Komisja Europejska może częściowo lub całkowicie odebrać jednostce organizacyjnej materiały wyjściowe lub specjalne materiały rozszczepialne (według Art. 86 Traktatu wszystkie specjalne materiały rozszczepialne znajdujące się na terenie Unii SA własnością Wspólnoty).

2.1.2. Dyrektywy Unii Europejskiej

Poniżej wymienionych zostało kilka najważniejszych dyrektyw Rady EURATOM:

- Dyrektywa Rady 96/29/Euratom z dnia 13 maja 1996 r. ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony zdrowia pracowników i ogółu społeczeństwa przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego (Dz. Urz. WE L159 z 29.06.1996, str. 1; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 5, t. 2, str. 291);
- Dyrektywa Rady 89/618/Euratom z dnia 27 listopada 1989 r. w sprawie informowania ogółu społeczeństwa o środkach ochrony zdrowia, które będą stosowane oraz działaniach, jakie należy podjąć w przypadku pogotowia radiologicznego (Dz. Urz. WE L357 z 07.12.1989, str. 31; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 1 5, t. 1, str. 366);
- Dyrektywa Rady 90/641/Euratom z dnia 4 grudnia 1990 r. w sprawie praktycznej ochrony pracowników zewnętrznych, narażonych na promieniowanie jonizujące podczas pracy na terenie kontrolowanym (Dz. Urz. WE L349 z 3.12.1990, str. 21, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 5, t. 1, str. 405, z późn. zm.);
- Dyrektywa Rady 92/3/Euratom z dnia 3 lutego 1992 r. w sprawie nadzoru i kontroli przesyłania odpadów radioaktywnych między Państwami Członkowskimi oraz do Wspólnoty i poza jej obszar (Dz. Urz. WE L35 z 12.02.1992, str. 24; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 2, str. 90).
- Dyrektywa Rady 97/43/Euratom z dnia 30 czerwca 1997 r. w sprawie ochrony zdrowia osób fizycznych przed niebezpieczeństwem wynikającym z promieniowania jonizującego związanego z badaniami medycznymi oraz uchylającej dyrektywę 84/466/Euratom (Dz. Urz. WE L180 z 09.07.1997, str. 22, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 3, str. 332, z późn. zm.);
- Dyrektywa Rady 2003/122/Euratom z dnia 22 maja 2003 r. w sprawie kontroli wysoce radioaktywnych źródeł zamkniętych i odpadów radioaktywnych (Dz. Urz. UE L346 z 31.12.2003, str. 57; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 7, str. 694).
- Dyrektywa Rady 2006/117/Euratom z dnia 20 listopada 2006 r. w sprawie nadzoru oraz kontroli nad przemieszczaniem odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. Urz. UE L337 z 5.12.2006 s. 21)

2.1.3. Rozporządzenia, decyzje i zalecenia Unii Europejskiej

- Rozporządzenie Rady (EURATOM) nr 1493/93 z dnia 8 czerwca 1993 r. w sprawie przesyłania substancji radioaktywnych między Państwami Członkowskimi (Dz. U. L148 z 19.6.1993, str. 1 - 7 (ES, DA, DE, EL, EN, FR, IT, NL, PT, PL, ES Rozdział 12 Tom 01 P. 155)).
- Rozporządzenie Komisji (Euratom) Nr 302/2005 z dnia 8 lutego 2005 r. w sprawie stosowania zabezpieczeń przyjętych przez Euratom (Dz. Urz. UE L54 z 28.2.2005, str. 1 in.).
- Rozporządzenie 737/90/EWG z dnia 22 marca 1990 r. w sprawie warunków regulujących przywóz produktów rolnych pochodzących z państw trzecich w następstwie wypadku w elektrowni jądrowej w Czarnobylu Dz. Urz. WE L82 z 29.03.1990) zmienione rozporządzeniem 616/2000/WE z dnia 20 marca 2000 r. (Dz. Urz. WE L75 z 24.03.2000).
- Rozporządzenie 3954/87/Euratom z dnia 22 grudnia 1987 r. ustanawiające maksymalne dozwolone poziomy skażenia radioaktywnego środków spożywczych oraz pasz po wypadku jądrowym lub w każdym innym przypadku pogotowia radiologicznego (Dz. Urz. WE L371 z 30.12.1987), zmienione rozporządzeniem 2218/89/Euratom z dnia 18 lipca 1989 r. (Dz. Urz. WE L211 z 22.07.1989).
- Decyzja Rady 87/600/Euratom z dnia 14 grudnia 1987 r. w sprawie wspólnotowych warunków wczesnej wymiany informacji w przypadku pogotowia radiologicznego (Dz. U. L371 z 30.12.1987, str.76-78 (ES, DA, DE, EL, EN, FR, IT, NL, PT) Polskie wydanie specjalne Rozdział 15 Tom 01 P.337–339).
- Decyzja Komisji z dnia 5 marca 2008 r. ustanawiająca standardowy dokument dla nadzoru i kontroli nad przemieszczaniem odpadów promieniotwórczych oraz wypalonego paliwa jądrowego określonych w dyrektywie Rady 2006/117/Euratom (Dz. U. L107 z 17.4.2008, str.32-59 (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV)).
- Zalecenie Komisji 99/829/Euratom z dnia 6 grudnia 1999 r. w sprawie stosowania artykułu 37 Traktatu Euratom (Dz. Urz. WE L324 z 16.12.1993, s. 23).
- Zalecenie Komisji z dnia 15 grudnia 2005 r. w sprawie wytycznych do stosowania rozporządzenia (Euratom) nr 302/2005 w sprawie stosowania zabezpieczeń przyjętych przez Euratom (Dz. U. L28 z 1.2.2006, str.1-85 (ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, IT, LV, LT, HU, NL, PL, PT, SK, SL, FI, SV)).
- Zalecenie Komisji 91/44/Euratom z 26 lutego 1991 r. w sprawie stosowania paragrafów 3 i 4 artykułu 33 Traktatu Euratom (Dz. Urz. WE L238 z 27.08.1991 s. 31).
- Zalecenie Komisji 2000/473/Euratom z 8 czerwca 2000 r. w sprawie stosowania art. 36 Traktatu Euratom dotyczącego monitorowania poziomu radioaktywności w środowisku dla celów oceny narażenia populacji (Dz. Urz. WE L191 z 27.07.2000, s. 37).

- Zalecenie Komisji 2004/2/Euratom z dnia 18 grudnia 2003 r. w sprawie standardowej informacji na temat lotnych i płynnych uwolnień do środowiska z reaktorów jądrowych i jednostek przetwarzających w warunkach normalnych (Dz. Urz. UE L002 z 6.01.2004, str. 36).
- Zalecenie Komisji 90/143/Euratom z 21 lutego 1990 r. w sprawie ochrony ludności przed narażeniem na radon w budynkach (Dz. Urz. WE L80 z 27.03.1990 r., str. 26).
- Zalecenie Komisji 2001/98/Euratom z dnia 20 grudnia 2001 r. w sprawie ochrony ludności przed narażeniem na radon w wodzie pitnej (Dz. Urz. UE L344 z 28.12.2001, str. 85).
- Zalecenie Komisji 1999/669/EC z dnia 15 września 1999 r. w sprawie systemu klasyfikacji stałych odpadów promieniotwórczych (Dz. Urz. WE L265 z 13.10.1999 r., str. 37).

2.1.4. Inne Konwencje i umowy międzynarodowe

W tym rozdziale przedstawione zostaną inne ważne Konwencje i międzynarodowe Umowy dotyczące ochrony radiologicznej i bezpieczeństwa jądrowego wraz z ich krótką charakterystyką.

Konwencja bezpieczeństwa jądrowego (Wiedeń, 20.09.1994 r.)

Określa podstawowe zasady bezpieczeństwa obiektów jądrowych definiowanych jako położone na lądzie cywilne siłownie jądrowe włącznie ze znajdującymi się na tym samym terenie i bezpośrednio związanymi z eksploatacją siłowni obiektami i urządzeniami służącymi do magazynowania, przemieszczania i obróbki materiałów promieniotwórczych. Zasady te obejmują stworzenie krajowego systemu prawnego odnoszącego się do bezpieczeństwa obiektów jądrowych – określenie wymagań i przepisów bezpieczeństwa, udzielania zezwoleń odnoszących się do obiektów jądrowych (zakaz eksploatacji obiektu jądrowego bez zezwolenia), system inspekcji i oceny obiektu jądrowego, egzekwowanie stosowania odpowiednich przepisów i przestrzegania warunków zezwoleń, obejmujące zawieszenie, zmianę lub cofnięcie zezwolenia.

Konwencja ta mówi także o tworzeniu i funkcjonowaniu niezależnego organu dozoru, podaje zasady odpowiedzialności jednostki organizacyjnej posiadającej zezwolenie na działalność obiektu jądrowego za bezpieczeństwo tego obiektu, nakłada na państwa członkowskie obowiązek spełnienia wymogów bezpieczeństwa na wszystkich etapach działalności z obiektem jądrowym od lokalizacji i projektowania aż po likwidację obiektu oraz określa zasadę priorytetu bezpieczeństwa i powiązane z nią zapewnienie odpowiedniego poziomu finansowego, kadrowego i jakościowego w działalności z obiektem jądrowym (**Dz. U. nr 42/1997, poz. 262**)

Wspólna Konwencja bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi (Wiedeń, 5.09.1997r.)

Konwencja określa podstawowe zasady bezpieczeństwa postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, pochodzącymi z cywilnych działalności. Chodzi tutaj o stworzenie krajowego systemu prawnego odnoszącego się do bezpiecznego postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, utworzenie i funkcjonowanie niezależnego organu dozоровego, zasadę odpowiedzialności jednostki organizacyjnej posiadającej zezwolenie na działalność z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym oraz zasadę ochrony poszczególnych ludzi, społeczeństwa i środowiska przed zagrożeniami radiologicznymi na wszystkich etapach postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym (**Dz. U. nr 202/2002, poz. 1704**)

Konwencja o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej (Wiedeń, 26.09.1986 r.)

Konwencja określa zasady międzynarodowej współpracy w zakresie powiadamiania się stron konwencji o wystąpieniu awarii jądrowej definiowanej jako awaria związana z urządzeniami lub działalnościami (takimi jak reaktory jądrowe, obiekty jądrowe cyklu paliwowego, obiekty służące do zagospodarowania odpadów promieniotwórczych, przewożenie i magazynowanie paliw jądrowych i odpadów promieniotwórczych, produkcja, stosowanie, przechowywanie, trwałe składowanie i transport radioizotopów) prowadzonymi przez państwo, osoby fizyczne lub prawne, pozostające pod jego jurysdykcją lub kontrolą, w której wyniku następuje lub może nastąpić uwolnienie substancji promieniotwórczej i która spowodowała lub może spowodować uwolnienie ponadgraniczne substancji promieniotwórczej mogącej stanowić istotne zagrożenie radiologiczne dla innego państwa. W Konwencji zwraca uwagę pierwszoplanowa rola Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej pośredniczącej w przekazywaniu informacji. (**Dz. U. nr 31/1988, poz. 216**)

Konwencja o pomocy w przypadku awarii jądrowej lub zagrożenia radiologicznego (Wiedeń, 26.09.1986 r.)

Konwencja określa zasady współpracy między państwami będącymi jej stronami oraz między nimi a Międzynarodową Agencją Energii Atomowej w zakresie wzajemnej pomocy w sytuacji awarii jądrowej. Zwraca uwagę wyrażona w Konwencji zasada zgodnie z którą państwo zwracające się o pomoc ponosi odpowiedzialność za ogólne kierowanie pomocą oraz jej kontrolę, koordynację i nadzór na swym terytorium. Jedynie w tych przypadkach, kiedy pomoc obejmuje udostępnienie personelu, strona udzielająca pomocy powinna po konsultacji z państwem zwracającym się o pomoc wyznaczyć osobę, która będzie odpowiadać za udostępniony przez tę stronę personel i wyposażenie oraz zapewni bezpośrednie operatywne kierownictwo nad personelem i wykorzystaniem sprzętu. (**Dz. U. nr 31/1988, poz. 218**)

Konwencja Wiedeńska o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową (Wiedeń, 21.05.1963 r.)

Konwencja tworzy międzynarodowy system odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową. System ten mówi o wyłącznej odpowiedzialności osoby eksploatującej obiekt jądrowy, obejmującej jedynie szkody powstałe wskutek wypadku jądrowego (ściśle określone w przepisach prawa). Odpowiedzialność taka oparta jest na zasadach ryzyka. Okoliczności zwalniające od takiej odpowiedzialności ograniczone są do minimum. Odpowiedzialność za

szkody limitowana jest kwotowo, a w odpowiedzialności uczestniczy państwo lub specjalnie tworzone fundusze publiczne. Ten kto jest obowiązany do naprawienia szkody, musi posiadać odpowiednie zabezpieczenie finansowe odpowiedzialności. Sąd rozstrzygający roszczenia związane z odpowiedzialnością, traktuje wszystkich poszkodowanych jednakowo bez względu na kraj pochodzenia. **(Dz. U. nr 63/1990, poz. 370)**

Zmiana: Protokół Zmieniający Konwencję wiedeńską o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową (Wiedeń, 12.09.1997 r.)

Konwencja dotycząca ochrony pracowników przed promieniowaniem jonizującym (Genewa, 22.06.1960 r.)

Konwencja określiła podstawowe zasady ochrony pracowników przed skutkami promieniowania jonizującego, stwierdzając, iż należy przedsięwziąć wszelkie właściwe środki w celu zapewnienia pracownikom skutecznej ochrony przed promieniowaniem jonizującym z punktu widzenia ich zdrowia i bezpieczeństwa. Jednocześnie zobowiązała państwa, które ją podpisały do określenia w przepisach krajowych dopuszczalnych dawek promieniowania, na jakie mogą być narażeni pracownicy oraz określenie urzędowego wykazu prac, przy których wykonywaniu pracownicy są narażeni na działanie promieniowania jonizującego.

Konwencja dość szczegółowo zajmuje się nadzorem medycznym nad pracownikami nakazując między innymi poddawanie pracowników określonym badaniom lekarskim (wstępnym i okresowym) oraz nakazuje określenie w przepisach krajowych okoliczności, po wystąpieniu których pracownika należy poddać badaniom lekarskim **(Dz. U. nr 8/1965, poz. 45)**

Konwencja o ochronie fizycznej materiałów jądrowych (Wiedeń i Nowy Jork, 3.03.1980 r.)

Konwencja określa zasady ochrony materiałów jądrowych używanych w celach pokojowych podczas ich międzynarodowego transportu, a także użytkowania, składowania lub transportu wewnątrz kraju. Poziom ochrony materiałów jądrowych został uzależniony od kategorii, do której dany materiał jądrowy został zaliczony – Konwencja wprowadziła podział materiałów jądrowych na trzy kategorie.

Konwencja zobowiązuje strony do dokonywania przemieszczeń materiałów jądrowych tylko do oraz z państw, które zapewniają ochronę materiałów jądrowych na poziomie określonym w Konwencji. Jednocześnie Konwencja wprowadza penalizację szeregu zachowań polegających na niezgodnym z prawem postępowaniu z materiałami jądrowymi. **(Dz. U. nr 17/1989, poz. 93)**

Układ o nierozprzestrzaniu broni jądrowej (Moskwa, Waszyngton, Londyn, 1.07.1968 r.)

Układ o nierozprzestrzaniu broni jądrowej stał u podstaw międzynarodowego systemu zabezpieczeń materiałów jądrowych. Układ różnicuje sytuację prawną państw w zależności od tego czy posiadają one broń jądrową czy nie.

Konwencja zobowiązuje państwa dysponujące bronią jądrową do nieprzekazywania komukolwiek bezpośrednio lub pośrednio broni jądrowej lub innych jądrowych urządzeń wybuchowych oraz kontroli nad taką bronią lub takimi urządzeniami wybuchowymi, jak

również do nieokazywania pomocy, niezachęcania i nienakłaniania w jakikolwiek sposób jakiegokolwiek państwa nie dysponującego bronią jądrową do produkowania lub uzyskiwania inną drogą broni jądrowej lub innych jądrowych urządzeń wybuchowych i kontroli nad taką bronią lub urządzeniami wybuchowymi

Natomiast państwa nie posiadające broni jądrowej są zobowiązane do nieprzyjmowania od kogokolwiek, bezpośrednio lub pośrednio, broni jądrowej lub innych jądrowych urządzeń wybuchowych oraz kontroli nad taką bronią lub takimi urządzeniami wybuchowymi, do nieprodukowania i nieuzyskiwania inną drogą broni jądrowej lub innych jądrowych urządzeń wybuchowych oraz do nieubiegania się i nieprzyjmowania jakiegokolwiek pomocy w produkowaniu broni jądrowej lub innych jądrowych urządzeń wybuchowych, a także do przyjęcia środków zabezpieczających do każdego wyjściowego lub specjalnego materiału rozszczepialnego w całej działalności w zakresie pokojowego wykorzystania energii jądrowej, ustalonych w porozumieniu zawartym z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej

Wszystkie państwa strony Układu zobowiązały się do nieudostępniania wyjściowego lub specjalnego materiału rozszczepialnego, urządzenia lub materiału specjalnie przeznaczonego lub przygotowanego do przerabiania, wykorzystania lub produkcji specjalnego materiału rozszczepialnego jakimkolwiek państwu nie dysponującemu bronią jądrową dla celów pokojowych, jeżeli ten wyjściowy lub specjalny materiał rozszczepialny nie będzie podlegał środkom zabezpieczającym wymaganym Układem. (*Dz. U. nr 8/1970, poz. 60*)

Inne umowy i porozumienia dwustronne, jakie zawarła Polska z innymi krajami (m.in. Austria, Białoruś, Dania, Litwa, Norwegia, Rosja, Słowacja, Ukraina, Czechy) – najczęściej są to umowy o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej oraz wymianie informacji na temat pokojowego wykorzystania energii jądrowej, bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

2.2. Polskie przepisy prawne

2.2.1. Ustawa PRAWO ATOMOWE

Ustawa Prawo Atomowe (Dz. U. nr 42/2007 poz. 276 oraz Dz. U. 93/2008 poz. 583) jest w polskim systemie prawa aktem podstawowym w zakresie zarówno bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej jak i zabezpieczeń materiałów jądrowych oraz odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową. Jeżeli inny akt prawny posługuje się terminami używanymi w Prawie Atomowym, to uważa się, że używa go w znaczeniu wynikającym z Prawa Atomowego (chyba, że w akcie tym wyraźnie sformułowana jest inna definicja).

Ponieważ jest to najważniejszy i podstawowy przepis prawny dotyczący tematyki poruszanej w niniejszym podręczniku, to omówimy go tutaj dość szczegółowo.

2.2.1.1 Rozdział I – „Przypisy ogólne”

Ustawa Prawo Atomowe określa działalność w zakresie pokojowego wykorzystania energii atomowej związanej z rzeczywistym i potencjalnym narażeniem na promieniowanie jonizujące od sztucznych źródeł promieniotwórczych, materiałów jądrowych, urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące, odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego.

W Ustawie znajdziemy także obowiązki kierownika jednostki organizacyjnej wykonującej tę działalność. Jest w niej mowa także o odpowiedzialności cywilnej za szkody jądrowe (podane są kary pieniężne za naruszenie przepisów dotyczących bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz tryb ich nakładania). Ustawa wymienia organy właściwe w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej podając ich kompetencje i zasady działania.

Ustawa zajmuje się nie tylko problematyką sztucznych źródeł promieniotwórczych, ale także stosuje się ją do działalności wykonywanej w warunkach zwiększonego (w wyniku działalności człowieka) narażenia na naturalne promieniowanie jonizujące.

Jest w niej także mowa o zasadach prowadzenia monitorowania skażeń promieniotwórczych oraz określa sposoby postępowania w wyniku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego jak również w przypadku długotrwałego narażenia spowodowanego zdarzeniem radiacyjnym.

Prawo Atomowe zajmuje się także problematyką współpracy międzynarodowej, definiując zasady wypełniania zobowiązań międzynarodowych, w tym w ramach Unii Europejskiej, dotyczących bezpieczeństwa jądrowego, ochrony przed promieniowaniem jonizującym oraz zabezpieczeń materiałów jądrowych i kontroli technologii jądrowych.

Jeden z rozdziałów Ustawy zajmuje się również zasadami ochrony osób przed zagrożeniami wynikającymi ze stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych.

W ustawie podanych jest wiele definicji i określeń dotyczącej tematyki bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Do najważniejszych z nich należą:

- **bezpieczeństwo jądrowe** – stan osiągany przez całokształt przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych podejmowanych w celu zapobiegania powstaniu niekontrolowanej samopodtrzymującej się reakcji rozszczepienia jądrowego związanej z działalnością z materiałami jądrowymi oraz ograniczania jej skutków;
- **dawka graniczna** – wartość dawki promieniowania jonizującego, wyrażoną jako dawka skuteczna lub równoważna, dla określonych osób, pochodzącą od kontrolowanej działalności zawodowej, której, poza przypadkami przewidzianymi w ustawie, nie wolno przekroczyć;
- **materiał jądrowy** – rudy, materiały wyjściowe (źródłowe) lub specjalne materiały rozszczepialne, o których mowa w art. 197 Traktatu ustanawiającego Europejską Wspólnotę Energii Atomowej, zwanego dalej „Traktatem Euratom”;

- **medycyna nuklearna** – wszelką działalność diagnostyczną związaną z podawaniem pacjentom produktów radiofarmaceutycznych, a także z zabiegami terapeutycznymi przy użyciu produktów radiofarmaceutycznych;
- **obiekt jądrowy** – obiekt lub urządzenie przeznaczone do wytwarzania, stosowania, przetwarzania, wzbogacania izotopowego, przechowywania, składowania materiału jądrowego w ilości umożliwiającej zrealizowanie samopodtrzymującej się reakcji rozszczepienia jądrowego, w szczególności elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie z energetycznymi reaktorami jądrowymi oraz badawcze, doświadczalne i inne reaktory jądrowe - od rozpoczęcia budowy do zakończenia likwidacji;
- **ochrona radiologiczna** – zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom – ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych;
- **odpady promieniotwórcze** – materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, których wykorzystanie jest niecelowe lub niemożliwe, zakwalifikowane do kategorii odpadów wymienionych w art. 47;
- **poziom interwencyjny** – liczbową wartość dawki skutecznej lub równoważnej możliwej do uniknięcia albo poziom zawartości izotopów promieniotwórczych w żywności, wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi i środkach żywienia zwierząt, których możliwość przekroczenia oznacza konieczność rozważenia podjęcia określonych działań interwencyjnych;
- **promieniowanie jonizujące** – promieniowanie składające się z cząstek bezpośrednio lub pośrednio jonizujących albo z obu rodzajów tych cząstek lub fal elektromagnetycznych o długości do 100 nm (nanometrów);
- **promieniowanie naturalne** – promieniowanie jonizujące emitowane ze źródeł pochodzenia naturalnego ziemskiego i kosmicznego;
- **skażenie promieniotwórcze** – skażenie przedmiotów, pomieszczeń, środowiska lub osób przez niepożądaną obecność substancji promieniotwórczych, przy czym w szczególnym przypadku ciała ludzkiego obejmuje zarówno skażenie zewnętrzne jak i skażenie wewnętrzne, niezależnie od drogi проникnięcia substancji promieniotwórczej do organizmu;
- **substancja promieniotwórcza** – substancję zawierającą jeden lub więcej izotopów promieniotwórczych o takiej aktywności lub stężeniu promieniotwórczym, które nie mogą być pominięte z punktu widzenia ochrony radiologicznej;
- **teren kontrolowany** – teren o kontrolowanym dostępie, objęty specjalnymi przepisami mającymi na celu ochronę przed promieniowaniem jonizującym lub rozprzestrzenianiem się skażeń promieniotwórczych;
- **teren nadzorowany** – teren objęty specjalnym nadzorem, w celu ochrony przed promieniowaniem jonizującym;
- **zamknięte źródło promieniotwórcze** – źródło promieniotwórcze o takiej budowie, która w warunkach określonych dla jego stosowania uniemożliwia przedostanie się do środowiska zawartej w nim substancji promieniotwórczej;

- **zdarzenie radiacyjne** – sytuację związaną z zagrożeniem, wymagającą podjęcia pilnych działań w celu ochrony pracowników lub ludności;
- **źródło promieniotwórcze** – substancję promieniotwórczą przygotowaną do wykorzystywania jej promieniowania jonizującego;
- **źródło promieniowania jonizującego** – źródło promieniotwórcze, urządzenie zawierające takie źródło, urządzenie wytwarzające promieniowanie jonizujące lub urządzenie emitujące substancje promieniotwórcze.

2.2.1.2 Rozdział II – „Zezwolenia w zakresie bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej”

Wykonywanie działalności związanej z narażeniem, polegającej na wytwarzaniu, przetwarzaniu, przechowywaniu, składowaniu, transporcie lub stosowaniu materiałów jądrowych, źródeł i odpadów promieniotwórczych oraz wypalonego paliwa jądrowego i obrocie nimi, a także na wzbogacaniu izotopowym, na budowie, rozruchu, próbnego i stałej eksploatacji oraz likwidacji obiektów jądrowych, na budowie, eksploatacji, zamknięciu i likwidacji składowisk odpadów promieniotwórczych i składowisk wypalonego paliwa jądrowego oraz budowie i eksploatacji przechowalników wypalonego paliwa jądrowego, na produkowaniu, instalowaniu, stosowaniu i obsłudze urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze oraz obrocie tymi urządzeniami, uruchamianiu i stosowaniu urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące, na uruchamianiu pracowni, w których mają być stosowane źródła promieniowania jonizującego, w tym pracowni rentgenowskich, na zamierzonym dodawaniu substancji promieniotwórczych w procesie produkcyjnym wyrobów powszechnego użytku i wyrobów medycznych, wyrobów medycznych do diagnostyki in vitro, wyposażenia wyrobów medycznych, wyposażenia wyrobów medycznych do diagnostyki in vitro, aktywnych wyrobów medycznych do implantacji, obrocie tymi wyrobami oraz przywozie na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej i wywozie z tego terytorium tych wyrobów i wyrobów powszechnego użytku, do których dodano substancje promieniotwórcze, na zamierzonym podawaniu substancji promieniotwórczych ludziom i zwierzętom w celu medycznej lub weterynaryjnej diagnostyki, leczenia lub badań Naukowych **wymaga zezwolenia albo zgłoszenia w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.**

W Polsce zabrania się dodawania substancji promieniotwórczych do żywności, zabawek, osobistych ozdób lub kosmetyków oraz przywozie na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej i wywozie z tego terytorium takich wyrobów.

Ustawa opisuje jak ma wyglądać wniosek o uzyskanie zezwolenia na prowadzoną działalność podaną powyżej, jakie załączniki ma zawierać. Wszelkie zezwolenia wydaje Prezes Państwowej Agencji Atomistyki - PAA (z wyjątkiem zezwoleń na uruchamianie i stosowanie aparatów rentgenowskich do celów diagnostyki medycznej, radiologii zabiegowej, radioterapii powierzchniowej i radioterapii schorzeń nienowotworowych oraz uruchamianie pracowni stosujących takie aparaty, które wydaje państwowy wojewódzki inspektor sanitarny). Prezes PAA nie zajmuje się także zezwoleniami dla jednostek organizacyjnych

podległych Ministrowi Obrony Narodowej oraz Ministrowi Spraw Wewnętrznych i Administracji.

W przypadku zezwoleń na wykonywanie działalności ze źródłem wysokoaktywnym, jednostka organizacyjna występująca o takie zezwolenie zobowiązana jest do podpisania z wytwórcą lub dostawcą źródła umowy dotyczącej postępowania ze źródłem po zakończeniu jego użytkowania (należy tutaj finansowo zabezpieczyć koszty odbioru takiego źródła).

Wszystkie zezwolenia wydawane są na czas nieoznaczony (chyba, że jednostka występująca o otrzymanie zezwolenia, złoży wniosek o zezwolenie na czas oznaczony).

Organ wydający zezwolenie cofa zezwolenie, w przypadku gdy:

- wydano prawomocne orzeczenie zakazujące jednostce organizacyjnej wykonywania objętej zezwoleniem działalności związanej z narażeniem;
- jednostka organizacyjna przestała spełniać warunki określone przepisami prawa, wymagane do prowadzenia działalności określonej w zezwoleniu;
- jednostka organizacyjna nie usunęła, w wyznaczonym przez organ wydający zezwolenie terminie, stanu faktycznego lub prawnego niezgodnego z warunkami określonymi w zezwoleniu lub z przepisami regulującymi działalność objętą zezwoleniem;
- jednostka organizacyjna nie wykonała sankcji nałożonych na nią przez Komisję Europejską na podstawie art. 83 Traktatu Euratom.

Jednostka organizacyjna wykonująca działalność wymagającą zezwolenia nie może przekazać materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych, urządzeń zawierających takie źródła, odpadów promieniotwórczych ani wypalonego paliwa jądrowego jednostce organizacyjnej nieposiadającej zezwolenia na wykonywanie z nimi działalności. Przed przekazaniem tego typu materiałów innej jednostce organizacyjnej, obowiązkiem kierownika jednostki przekazującej jest sprawdzenie posiadania przez jednostkę odbierającą odpowiednich zezwoleń.

Zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, nie może przekraczać wartości określonych w odrębnych przepisach. Kontrolę zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, prowadzą laboratoria, które posiadają system zapewnienia jakości wykonywanych badań, niezbędne wyposażenie, warunki lokalowe i środowiskowe oraz uczestniczą, na koszt własny, w międzylaboratoryjnych pomiarach porównawczych organizowanych przez Prezesa PAA, a także laboratoria posiadające akredytację w zakresie prowadzenia takiej kontroli.

2.2.1.3 Rozdział III – „Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna oraz ochrona zdrowia pracowników”

Za przestrzeganie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej odpowiedzialny jest kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną z narażeniem. Jednostka taka powinna zatrudniać Inspektora Ochrony Radiologicznej (IOR). Uprawnienia IOR nadaje się na okres pięciu lat. Uprawnienia IOR mogą być nadane osobie, która:

- posiada pełną zdolność do czynności prawnych;
- posiada co najmniej średnie wykształcenie;
- zdała egzamin z zakresu szkolenia określonego w oddzielnych przepisach;
- posiada orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do pracy w warunkach narażenia;
- posiada staż pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące, określony w oddzielnych przepisach.

Uprawnienia takie nadaje Prezes PAA, z wyjątkiem uprawnień inspektora ochrony radiologicznej w pracowniach stosujących aparaty rentgenowskie do celów diagnostyki medycznej, radiologii zabiegowej, radioterapii powierzchniowej i radioterapii schorzeń nienowotworowych, które nadaje Główny Inspektor Sanitarny. Koszty uzyskania uprawnień ponosi występujący z wnioskiem o ich nadanie. Prezes PAA może w zezwoleniu nałożyć na jednostkę organizacyjną obowiązek utworzenia wyspecjalizowanej, wyodrębnionej organizacyjnie służby ochrony radiologicznej, wspomagającej inspektora ochrony radiologicznej w wykonywaniu zadań z zakresu ochrony radiologicznej.

Kierownik jednostki organizacyjnej przed podjęciem działalności związanej z wprowadzeniem nowych rodzajów zastosowań promieniowania jonizującego sporządza uzasadnienie, które powinno wykazać, że spodziewane w wyniku wykonywania tej działalności korzyści naukowe, ekonomiczne, społeczne i inne będą większe niż możliwe, spowodowane przez tę działalność, szkody dla zdrowia człowieka i stanu środowiska.

Pracownik może być zatrudniony w warunkach narażenia po orzeczeniu braku przeciwwskazań do takiego zatrudnienia wydanym przez lekarza posiadającego odpowiednie kwalifikacje.

Do pracy przy materiale jądrowym, źródle promieniowania jonizującego, odpadach promieniotwórczych lub wypalonym paliwie jądrowym można dopuścić pracownika, który posiada odpowiednią do stanowiska pracy znajomość przepisów z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz niezbędne umiejętności. Kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany zapewnić prowadzenie wstępnych i okresowych - nie rzadziej niż co 5 lat, szkoleń pracowników w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, zgodnie z opracowanym przez siebie programem. Szkoleniem objęci są również pracownicy uczestniczący w transporcie materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych, odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego.

Programy szkoleń, opracowane przez kierownika jednostki organizacyjnej działającej na podstawie zezwolenia, podlegają zatwierdzeniu przez organ, który wydał zezwolenie.

W jednostce organizacyjnej na stanowisku mającym istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej może być zatrudniona wyłącznie osoba posiadająca uprawnienia nadane przez Prezesa PAA.

Dawki graniczne obejmują sumę dawek pochodzących od narażenia zewnętrznego i wewnętrznego. Dawki graniczne nie obejmują narażenia na promieniowanie naturalne, jeżeli narażenie to nie zostało zwiększone w wyniku działalności człowieka, w szczególności nie obejmują narażenia pochodzącego od radonu w budynkach mieszkalnych, od naturalnych nuklidów promieniotwórczych wchodzących w skład ciała ludzkiego, od promieniowania kosmicznego na poziomie ziemi, jak również narażenia nad powierzchnią ziemi od nuklidów promieniotwórczych znajdujących się w nienaruszonej skorupie ziemskiej.

W celu dostosowania sposobu oceny zagrożenia pracowników w jednostkach organizacyjnych do jego spodziewanego poziomu, w zależności od wielkości zagrożenia, wprowadza się dwie kategorie pracowników:

- kategorię A obejmującą pracowników, którzy mogą być narażeni na dawkę skuteczną przekraczającą 6 mSv (milisiwertów) w ciągu roku lub na dawkę równoważną przekraczającą trzy dziesiąte wartości dawek granicznych dla soczewek oczu, skóry i kończyn, określonych w odrębnych przepisach;
- kategorię B obejmującą pracowników, którzy mogą być narażeni na dawkę skuteczną przekraczającą 1 mSv w ciągu roku lub na dawkę równoważną przekraczającą jedną dziesiątą wartości dawek granicznych dla soczewek oczu, skóry i kończyn, określonych w odrębnych przepisach i którzy nie zostali zaliczeni do kategorii A.

Ocena narażenia pracowników prowadzona jest na podstawie kontrolnych pomiarów dawek indywidualnych lub pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy.

Pracownicy kategorii A podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie systematycznych pomiarów dawek indywidualnych, a jeżeli mogą być narażeni na skażenie wewnętrzne mające wpływ na poziom dawki skutecznej dla tej kategorii pracowników, podlegają również pomiarom skażeń wewnętrznych.

Pracownicy kategorii B podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy w sposób pozwalający stwierdzić prawidłowość zaliczenia pracowników do tej kategorii, chyba że kierownik jednostki organizacyjnej zdecyduje o objęciu ich systematycznymi pomiarami dawek indywidualnych. Zezwolenie może zawierać warunek prowadzenia oceny narażenia pracowników kategorii B wykonujących prace określone w tym zezwoleniu na podstawie pomiarów dawek indywidualnych.

Zaliczenia pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia do kategorii A lub B dokonuje kierownik jednostki organizacyjnej, w zależności od przewidywanego poziomu narażenia tych pracowników.

W celu dostosowania działań i środków ochrony radiologicznej pracowników do wielkości i rodzajów zagrożeń, kierownik jednostki organizacyjnej wprowadza podział lokalizacji miejsc pracy na:

- tereny kontrolowane, tam, gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii A, istnieje możliwość rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych lub mogą występować duże zmiany mocy dawki promieniowania jonizującego;
- tereny nadzorowane, tam, gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii B i które nie zostały zaliczone do terenów kontrolowanych.

Osoba uczestnicząca w usuwaniu skutków zdarzenia radiacyjnego oraz w działaniach interwencyjnych nie może otrzymać w czasie trwania tych działań dawki przekraczającej wartość rocznej dawki granicznej dla pracowników, z wyjątkiem sytuacji narażenia wyjątkowego. W sytuacji narażenia wyjątkowego wynikającego z działań mających na celu:

- zapobieżenie poważnej utracie zdrowia,
- uniknięcie dużego napromieniowania znacznej liczby osób,
- zapobieżenie katastrofie na większą skalę

- należy dołożyć wszelkich starań, żeby osoba uczestnicząca w takich działaniach nie otrzymała dawki skutecznej przekraczającej 100 mSv. Osoba uczestnicząca w ratowaniu życia ludzkiego może otrzymać dawkę skuteczną przekraczającą 100 mSv, jednakże należy dołożyć wszelkich starań, żeby nie otrzymała dawki skutecznej przekraczającej 500 mSv.

Kierownik jednostki organizacyjnej obowiązany jest prowadzić rejestr dawek indywidualnych otrzymywanych przez pracowników zaliczonych do kategorii A na podstawie wyników pomiarów i ocen. Pomiary dawek indywidualnych oraz pomiary służące ocenie dawek od narażenia wewnętrznego są dokonywane przez podmioty posiadające akredytację otrzymaną na podstawie odrębnych przepisów.

Przed zatrudnieniem pracownika w warunkach narażenia kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany wystąpić do Prezesa PAA z wnioskiem o informację z centralnego rejestru dawek o dawkach otrzymanych przez tego pracownika w roku kalendarzowym, w którym występuje z wnioskiem, oraz w okresie czterech poprzednich lat kalendarzowych.

Kierownik jednostki organizacyjnej zatrudniającej pracowników w warunkach narażenia jest obowiązany zapewnić:

- opiekę medyczną pracownikom oraz niezbędne środki ochrony indywidualnej i sprzęt dozymetryczny, stosownie do warunków narażenia;
- prowadzenie pomiarów dawek indywidualnych albo pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy oraz rejestrowanie danych w tym zakresie.

Za nadzór medyczny nad pracownikami kategorii A odpowiedzialny jest kierownik jednostki organizacyjnej oraz uprawniony lekarz, któremu zapewnia się dostęp do informacji niezbędnych do wydania orzeczenia o zdolności tych pracowników do wykonywania określonej pracy, łącznie z informacją o warunkach środowiskowych w miejscu pracy. Nadzór medyczny obejmuje wstępne badania lekarskie pracownika przed jego zatrudnieniem dla określenia, czy pracownik może być zatrudniony w kategorii A, oraz okresowe badania lekarskie przeprowadzane co najmniej raz w roku, które pozwalają stwierdzić, czy pracownik może nadal wykonywać swoje obowiązki. Dla każdego pracownika kategorii A uprawniony lekarz zakłada dokumentację medyczną, prowadzoną i aktualizowaną przez cały okres zaliczenia do tej kategorii. Dokumentacja jest przechowywana do dnia osiągnięcia przez pracownika wieku 75 lat, jednak nie krócej niż przez 30 lat od dnia zakończenia przez niego pracy w warunkach narażenia.

W przypadku stwierdzonego przekroczenia którejkolwiek z dawek granicznych, określonych w odrębnych przepisach, kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany skierować pracownika na badania lekarskie. Dalsza praca w warunkach narażenia wymaga zgody uprawnionego lekarza. W przypadku braku zgody uprawnionego lekarza na dalsze zatrudnienie pracownika w warunkach narażenia stosuje się odpowiednio przepisy prawa pracy odnoszące się do pracownika, u którego stwierdzono objawy wskazujące na powstanie choroby zawodowej.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej kraju przy stosowaniu promieniowania jonizującego w warunkach normalnych i w sytuacji zdarzeń radiacyjnych wykonywanie działalności może być dofinansowywane z budżetu państwa w formie dotacji celowej. Dotacja może być przeznaczona na:

- eksploatację badawczych reaktorów jądrowych;
- likwidację badawczych reaktorów jądrowych;
- eksploatację przechowalników wypalonego paliwa jądrowego pochodzącego z badawczych reaktorów jądrowych;
- utrzymanie i rozwój programów zapewnienia jakości związanych z wykorzystaniem przez jednostki naukowe i badawczo-rozwojowe wiązek promieniowania jonizującego na potrzeby medyczne do celów innych niż diagnostyka i radioterapia;
- działalność w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz ochrony fizycznej obiektów jądrowych i materiałów jądrowych w jednostkach organizacyjnych działających w Otwocku-Świerku, a także w zakresie ochrony radiologicznej i ochrony Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych;

- sporządzanie ocen oddziaływania obiektów jądrowych, miejsc wydobywania rud uranu i toru oraz składowisk odpadów promieniotwórczych na środowisko oraz wykonywanie badań i analiz niezbędnych do sporządzenia tych ocen;
- wykonywanie pomiarów mocy dawki promieniowania jonizującego lub skażeń promieniotwórczych kraju;
- utrzymanie wzorców promieniowania jonizującego oraz utrzymanie i rozwój systemów zapewnienia jakości wzorcowania przyrządów dozymetrycznych;
- tworzenie i wykorzystywanie modeli obliczeniowych służących do oceny sytuacji radiacyjnej, niezbędnych do podjęcia odpowiednich działań w kraju na wypadek zdarzeń radiacyjnych, oraz tworzenie modeli niezbędnych do przeprowadzania analiz służących uzasadnianiu wprowadzenia działań interwencyjnych;
- akredytację laboratoriów wykonujących działalność związaną z pomiarami dawek indywidualnych oraz wzorcowaniem przyrządów dozymetrycznych;
- inwestycje służące wykonywaniu działalności, o której mowa powyżej.

Ustawa określa jak ma wyglądać wniosek złożony o dotację, jaki jest tryb jego rozpatrywania, ewentualnego poprawiania i zatwierdzania. Podaje także możliwe wysokości dotacji przydzielonej na prowadzenie odpowiedniej działalności. Ustawa zawiera także informacje dotyczące sposoby raportowania i rozliczania otrzymanych dotacji.

2.2.1.4 Rozdział IIIa – „Stosowanie promieniowania jonizującego w celach medycznych”

Stosowanie promieniowania jonizującego w celach medycznych obejmuje ekspozycje:

1. pacjentów, wynikającą z badań lekarskich i leczenia, w tym ze wstępnych i okresowych badań pracowników;
2. osób poddawanych przesiewowym badaniom z zastosowaniem promieniowania jonizującego;
3. zdrowych osób lub pacjentów uczestniczących w eksperymentach medycznych;
4. osób poddawanych badaniom z zastosowaniem promieniowania jonizującego w celach medyczno-prawnych, kiedy podjęcie tych badań nie wynika ze wskazań zdrowotnych;
5. osób, które poza obowiązkami zawodowymi, świadomie i z własnej woli udzielają pomocy pacjentom i opiekują się nimi.

Skierowanie pacjenta na określone badanie z zastosowaniem promieniowania jonizującego wynika z uzasadnionego przekonania lekarza lub innej osoby upoważnionej do kierowania na takie badanie, że jego wynik dostarczy informacji, które przyczynią się do postawienia prawidłowego rozpoznania lub wykluczenia choroby, oceny jej przebiegu i

postępów leczenia oraz, że korzyści z tego tytułu przewyższą możliwe ujemne następstwa dla zdrowia, które mogą być związane z narażeniem na promieniowanie jonizujące. W przypadku zaistnienia okoliczności wykluczających lub ograniczających zakres zastosowania procedury radiologicznej u pacjenta, pomimo że jest ona ogólnie uzasadniona, o odstąpieniu od jej wykonania lub o zakresie jej zastosowania decyduje lekarz kierujący lub wykonujący badanie.

Skierowanie na leczenie promieniowaniem jonizującym wydaje lekarz onkolog lub lekarz innej specjalności właściwej ze względu na rodzaj schorzenia, po rozważeniu uzasadnień dla innych sposobów leczenia, wynikających z natury choroby, stanu pacjenta i możliwych przeciwwskazań do radioterapii.

Właściwe badanie i leczenie przy użyciu promieniowania jonizującego wymaga optymalizacji ochrony radiologicznej pacjenta przed jego niepożądanym działaniem. W badaniach diagnostycznych rentgenowskich i z zakresu medycyny nuklearnej ogranicza się efektywne dawki promieniowania do możliwie najniższego poziomu – przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych – który zapewni uzyskanie wyniku badania o założonych walorach diagnostycznych.

Optymalizacja ochrony radiologicznej pacjenta jest także realizowana przez redukcję do minimum badań niepotrzebnie powtarzanych i wadliwie wykonanych.

Dzieci, kobiety w wieku rozrodczym, kobiety w ciąży i kobiety karmiące piersią, a także osoby z otoczenia i rodziny pacjentów poddanych terapii przy użyciu produktów radiofarmaceutycznych, podlegają szczególnej ochronie w związku z ekspozycją na promieniowanie w diagnostyce i terapii.

Prowadzenie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące w celach medycznych, polegającej na udzielaniu świadczeń zdrowotnych z zakresu radioterapii onkologicznej, w tym leczenia chorób nowotworowych przy użyciu produktów radiofarmaceutycznych, wymaga zgody Głównego Inspektora Sanitarnego.

Minister właściwy do spraw zdrowia tworzy Krajowe Centrum Ochrony Radiologicznej w Ochronie Zdrowia, działające w formie jednostki budżetowej. Minister właściwy do spraw zdrowia określi, w drodze rozporządzenia, organizację, tryb działania i szczegółowe zadania Centrum, mając na uwadze zapewnienie monitorowania stanu ochrony radiologicznej niezbędnego przy stosowaniu promieniowania jonizującego w celach medycznych. Do zadań Centrum należy:

- monitorowanie stanu ochrony radiologicznej wynikającego ze stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych w oparciu o:
 - o działalność kontrolną Państwowej Inspekcji Sanitarnej,
 - o sprawozdania komisji,

- o informacje uzyskiwane z kontroli dawek indywidualnych, ocen narażenia populacji pochodzącego od źródeł promieniowania stosowanych w celach medycznych,
 - o badania naukowe;
- składanie rocznych sprawozdań ministrowi właściwemu do spraw zdrowia z oceny wdrożenia wymagań bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych;
- zapewnienie wsparcia merytorycznego i fachowego doradztwa dla komórek organizacyjnych higieny radiacyjnej wojewódzkich stacji sanitarnoepidemiologicznych w zakresie medycznych zastosowań promieniowania jonizującego;
- opracowywanie metod i procedur badań parametrów technicznych urządzeń radiologicznych;
- opiniowanie projektów przepisów w dziedzinie ochrony radiologicznej pacjenta;
- udział w komisjach wyjaśniających przyczyny wypadków wynikających ze stosowania promieniowania jonizującego w medycynie;
- konsultowanie programów szkoleniowych z zakresu ochrony radiologicznej dla lekarzy specjalistów różnych dziedzin;
- współpraca z Prezesem PAA, Głównym Inspektorem Sanitarnym, Głównym Inspektorem Sanitarnym Wojska Polskiego oraz Głównym Inspektorem Sanitarnym Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji;
- przeprowadzanie w okresach 5-letnich oceny dawki dla ludności, wynikającej z medycznych zastosowań promieniowania jonizującego.

2.2.1.5 Rozdział IV – „Obiekty jądrowe”

Obiekty jądrowe podlegają ochronie fizycznej. Budynki i urządzenia nie wchodzące w skład obiektu jądrowego, których uszkodzenie lub zakłócenie pracy mogłoby spowodować skutki istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej podlegają ochronie fizycznej zgodnie z przepisami o ochronie osób i mienia. Wokół obiektu jądrowego wojewoda tworzy obszar ograniczonego użytkowania.

Obowiązek spełnienia wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz ochrony fizycznej obiektu jądrowego, a także budynków i urządzeń, o których mowa powyżej, w okresie ustalania lokalizacji, projektowania, budowy, rozruchu i próbnej eksploatacji spoczywa na inwestorze, a w okresie stałej eksploatacji lub likwidacji obiektu – na kierowniku jednostki eksploatującej.

W okresie projektowania, budowy, rozruchu i eksploatacji obiektu jądrowego należy stosować rozwiązania techniczne i organizacyjne, które w świetle osiągnięć nauki i techniki są niezbędne do tego, aby na wszystkich etapach eksploatacji narażenie osób przebywających w obiekcie lub innych osób i skażenie środowiska było możliwie jak najmniejsze przy rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych i nie przekraczało dawek granicznych określonych w przepisach

Prezes PAA wydaje zezwolenie na budowę, rozruch i próbną eksploatację obiektu jądrowego na wniosek inwestora, a zezwolenie na stałą eksploatację i likwidację – na wniosek kierownika jednostki eksploatującej.

Prezes PAA wydaje nakaz zmniejszenia mocy lub wyłączenia obiektu jądrowego z eksploatacji, jeżeli z jego oceny wynika, że dalsza eksploatacja takiego obiektu zagraża bezpieczeństwu jądrowemu. Ponowne zwiększenie mocy lub uruchomienie obiektu jądrowego wymaga zgody Prezesa PAA.

2.2.1.6 Rozdział V – „Materiały i technologie jądrowe”

Materiały jądrowe, z wyjątkiem rud uranu i toru, podlegają ochronie fizycznej. Kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną z materiałami jądrowymi opracowuje system ochrony fizycznej, który zatwierdza Prezes PAA.

Podjęcie i prowadzenie działalności polegającej na wykorzystywaniu materiałów jądrowych lub technologii jądrowych do budowy broni jądrowej lub jądrowych ładunków wybuchowych jest zabronione. W celu uzyskania potwierdzenia, że zakaz, o którym mowa powyżej, jest przestrzegany, a zobowiązania przyjęte przez Rzeczpospolitą Polską w zakresie zabezpieczeń materiałów jądrowych i kontroli technologii jądrowych są w sposób właściwy wypełniane, organy dozoru jądrowego prowadzą kontrolę obejmującą:

- materiały wyjściowe i specjalne materiały rozszczepialne wytwarzane, przetwarzane, przechowywane, stosowane lub transportowane na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, podlegające ewidencji materiałów jądrowych, z wyjątkiem materiałów przewożonych tranzytem przez to terytorium;
- dokumentację jądrową;
- pomieszczenia i urządzenia znajdujące się na terenie obiektu;

- miejsca, w których mogą występować ślady działalności z materiałami jądrowymi lub technologiami jądrowymi, w szczególności wycofane z eksploatacji obiekty i lokalizacje poza obiektami;
- miejsca, w których mogą występować ślady wydobycia lub przerobu rud uranu i toru;
- miejsca składowania odpadów promieniotwórczych, które mogą zawierać specjalne materiały rozszczepialne;
- miejsca, w których wykorzystuje się materiały jądrowe do celów niejądrowych;
- miejsca, w których znajdują się materiały wyjściowe, które nie osiągnęły składu i stopnia czystości kwalifikujących je do wykorzystania do produkcji paliwa jądrowego lub do wzbogacania izotopowego;
- działalność badawczo-rozwojową w zakresie technologii jądrowych.

W związku z prowadzoną kontrolą organy dozoru jądrowego mają prawo:

- dostępu o każdej porze do materiałów, urządzeń i ich części, pomieszczeń i
- miejsc, w których prowadzona jest działalność z materiałami jądrowymi;
- wglądu do dokumentacji;
- do żądania pisemnych lub ustnych informacji dotyczących działalności z materiałami, technologiami, urządzeniami i częściami urządzeń.

Prezes PAA koordynuje wypełnianie zobowiązań Rzeczypospolitej Polskiej w zakresie zabezpieczeń materiałów jądrowych i kontroli technologii jądrowych, prowadzi krajowy system gromadzenia i przetwarzania danych związanych z wypełnianiem tych zobowiązań oraz bilansuje stan ilościowy materiałów wyjściowych i specjalnych materiałów rozszczepialnych w kraju.

Kierownik jednostki organizacyjnej prowadzącej działalność z materiałami jądrowymi w obiekcie lub lokalizacji poza obiektem:

- umożliwia organom dozoru jądrowego, inspektorom Euratomu oraz inspektorom MAEA dokonanie kontroli prowadzonej przez siebie działalności w zakresie określonym wymaganiami zabezpieczeń materiałów jądrowych, zapewniając w szczególności dostęp do dokumentacji jądrowej, materiałów jądrowych, budynków, pomieszczeń i urządzeń obiektu lub lokalizacji poza obiektem oraz do środków technicznych zabezpieczeń zainstalowanych lub zdeponowanych przez inspektorów Euratomu lub MAEA;
- dostarcza Prezesowi PAA kopie dokumentacji jądrowej przekazywanej Komisji Europejskiej oraz od niej otrzymywanej w ciągu jednego dnia roboczego od jej wysłania albo otrzymania;

- przekazuje Prezesowi PAA na jego żądanie wyjaśnienia dotyczące danych zawartych w dokumentacji jądrowej, w zakresie i terminie określonych w żądaniu;
- przekazuje organom dozoru jądrowego, inspektorom Euratomu i inspektorom MAEA informacje o działalności eksploatacyjnej w zakresie i terminie określonych w żądaniu;
- w przypadku stwierdzenia utraty materiału jądrowego wskutek nadzwyczajnego zdarzenia lub okoliczności, a także jeżeli nastąpiło jego niedozwolone użycie, niezwłocznie informuje o tym Prezesa PAA, podając:
 - o ilość i rodzaj utraconego albo użytego w niedozwolony sposób materiału jądrowego,
 - o rejon bilansu materiałowego, w którym materiał był objęty ewidencją,
 - o określenie przyczyn i okoliczności utraty lub niedozwolonego użycia materiału jądrowego,
 - o opis działań podjętych w celu przeciwdziałania skutkom utraty lub niedozwolonego użycia materiału jądrowego oraz w celu zapobieżenia podobnym zdarzeniom w przyszłości;
- zapewnia warunki niezbędne do instalowania uzgodnionych z inspektorami Euratomu oraz inspektorami MAEA środków technicznych zabezpieczeń;
- zapewnia zachowanie w stanie nienaruszonym integralności barier fizycznych i pieczęci chroniących przed nieupoważnionym dostępem do materiałów jądrowych, urządzeń, wzorców, próbek oraz środków technicznych zabezpieczeń, zamkniętych przez inspektorów Euratomu lub inspektorów MAEA za pomocą barier fizycznych i pieczęci, a w przypadku stwierdzenia naruszenia integralności barier fizycznych lub pieczęci niezwłocznie informuje o tym Prezesa PAA, podając:
 - o przyczyny i okoliczności naruszenia,
 - o opis działań podjętych w celu przeciwdziałania skutkom naruszenia oraz w celu zapobieżenia naruszeniom w przyszłości;
- organizuje wysyłanie próbek pobranych dla lub przez inspektorów Euratomu lub inspektorów MAEA oraz odbiór i wysyłanie materiałów i sprzętu służących inspektorom do kontroli;
- zapoznaje inspektorów Euratomu i inspektorów MAEA ze specyficznymi wymaganiami ochrony radiologicznej obowiązującymi na terenie obiektu lub lokalizacji poza obiektem, wyposaża ich w niezbędne środki ochrony osobistej oraz prowadzi kontrolę dawek promieniowania jonizującego otrzymywanych przez inspektorów w trakcie prowadzonej kontroli.

Kierownik jednostki organizacyjnej prowadzącej działalność polegającą na składowaniu odpadów promieniotwórczych zawierających specjalne materiały rozszczepialne lub na postępowaniu z takimi odpadami:

- prowadzi dokumentację odpadów promieniotwórczych zawierających specjalne materiały rozszczepialne, wobec których MAEA wydała decyzję o zakończeniu ewidencji, obejmującą informacje o ilości zawartego w nich plutonu, uranu-233, uranu wzbogaconego co najmniej w 20% w izotopy uranu-233 lub uranu-235, ich koncentracji, postaci fizycznej, sposobie unieszkodliwienia oraz dacie przyjęcia do składowiska albo przechowalnika i miejscu składowania albo przechowywania;
- informuje Prezesa PAA o planowanym przemieszczeniu poza granice składowiska albo przechowalnika lub o planowanym przetwarzaniu odpadów promieniotwórczych zawierających materiały wymienione powyżej, z podaniem, odpowiednio, terminu przemieszczenia lub rozpoczęcia przetwarzania i jego zakończenia, w terminie co najmniej 210 dni przed dniem rozpoczęcia przemieszczania lub przetwarzania;
- informuje Prezesa PAA, w terminie do dnia 15 stycznia każdego roku, o dokonanych w poprzednim roku kalendarzowym zmianach w lokalizacji odpadów promieniotwórczych zawierających specjalne materiały rozszczepialne;
- umożliwia organom dozoru jądrowego, inspektorom Euratomu oraz inspektorom MAEA dostęp do budynków i urządzeń jednostki w celu dokonania kontroli w ramach dostępu uzupełniającego, umożliwia im przeprowadzenie czynności kontrolnych oraz udziela im niezbędnych wyjaśnień związanych z przeprowadzanymi czynnościami.

Kierownik jednostki wykorzystującej materiały jądrowe do celów niejądrowych lub jednostki, w posiadaniu której znajdują się materiały wyjściowe o składzie i czystości niekwalifikujących ich do produkcji paliwa jądrowego lub do wzbogacania izotopowego:

- przekazuje Prezesowi PAA, w terminie do dnia 31 marca każdego roku, informację, za okres poprzedniego roku kalendarzowego, o ilości i składzie chemicznym materiałów jądrowych, dacie ich przywozu lub przyjęcia i pochodzeniu, dacie ich wywozu lub przekazania i miejscu przeznaczenia oraz sposobie ich wykorzystania lub planowanego wykorzystania, z podaniem terminu i sposobu wykorzystania;
- umożliwia organom dozoru jądrowego, inspektorom Euratomu oraz inspektorom MAEA dostęp do materiałów jądrowych w celu dokonania kontroli w ramach dostępu uzupełniającego, umożliwia im przeprowadzenie czynności kontrolnych oraz udziela im niezbędnych wyjaśnień związanych z przeprowadzanymi czynnościami.

2.2.1.7 Rozdział VI – „Źródła promieniowania jonizującego”

Źródła promieniowania jonizującego podlegają kontroli, a źródła promieniotwórcze podlegają także ewidencji. Obowiązek prowadzenia kontroli źródeł promieniowania jonizującego oraz ewidencji stanu i ruchu źródeł promieniotwórczych spoczywa na kierowniku jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną z tymi źródłami. Kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną ze źródłami promieniotwórczymi ma obowiązek zabezpieczyć je przed uszkodzeniem, kradzieżą lub dostaniem się w ręce osób nieuprawnionych.

Kierownik jednostki organizacyjnej wytwarzającej źródła wysokoaktywne ma obowiązek:

- nadać każdemu ze źródeł niepowtarzalny numer identyfikacyjny, a jeżeli jest to możliwe, wygrawerować albo wybić ten numer w sposób trwały na obudowie źródła i jego pojemniku;
- w przypadku gdy nie jest możliwe wygrawerowanie albo wybicie numeru identyfikacyjnego na pojemniku lub na obudowie źródła, a także w przypadku pojemników transportowych wielokrotnego użytku – umieścić na pojemniku informację o typie źródła;
- oznaczyć pojemnik ze źródłem, a jeżeli jest to możliwe, także obudowę źródła, symbolem promieniowania jonizującego;
- dołączyć do źródła dokument zawierający numer identyfikacyjny źródła, wskazujący, że zostało ono oznaczone w sposób określony powyżej oraz potwierdzający czytelność tego oznaczenia;
- wraz ze źródłem dostarczyć jednostce organizacyjnej będącej odbiorcą źródła fotografie źródła i pojemnika źródła tych samych typów.

Prezes PAA prowadzi rejestr źródeł wysokoaktywnych, z którymi jest wykonywana działalność, oraz innych zamkniętych źródeł promieniotwórczych stosowanych i przechowywanych w jednostkach organizacyjnych wykonujących na podstawie zezwolenia działalność polegającą na stosowaniu lub przechowywaniu zamkniętych źródeł promieniotwórczych lub urządzeń zawierających takie źródła. Rejestr taki zawiera określenie:

- jednostki organizacyjnej wykonującej działalność ze źródłem;
- typu źródła;
- izotopu promieniotwórczego zawartego w źródle;
- aktywności źródła w momencie jego wytworzenia, a jeżeli nie jest znana, w momencie wprowadzenia źródła do obrotu albo wejścia w posiadanie źródła przez jednostkę organizacyjną prowadzącą działalność z tym źródłem;
- w przypadku źródeł wysokoaktywnych, jeżeli jest to możliwe, także numeru identyfikacyjnego źródła.

Urządzenia zawierające źródła promieniotwórcze lub wytwarzające promieniowanie jonizujące przed wprowadzeniem ich do eksploatacji podlegają kontroli w zakresie ochrony radiologicznej. Kontrola ta nie obejmuje urządzeń, które mogą być stosowane w działalności niewymagającej zezwolenia. Kontroli urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze dokonuje jednostka organizacyjna, która ma zezwolenie na instalowanie tych urządzeń lub obrót nimi, a kontroli urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące dokonuje jednostka organizacyjna, która ma zezwolenie na ich uruchamianie.

2.2.1.8 Rozdział VII – „Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe”

Tematyka odpadów promieniotwórczych zostanie obszernie przedstawiona w Rozdziale 11 niniejszego podręcznika wraz z przywołaniem aktów prawnych dotyczących tej tematyki. Dlatego w tej części omawiania Prawa Atomowego, skupię się tylko na tematyce wypalonego paliwa jądrowego.

Odpady promieniotwórcze zawierające materiał jądrowy oraz wypalone paliwo jądrowe podlegają ochronie fizycznej. Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe przechowywane są w warunkach umożliwiających ich segregację oraz w sposób zapewniający ochronę ludzi i środowiska.

Wypalone paliwo jądrowe przeznaczone do składowania traktuje się jak odpady wysokoaktywne.

Działalność w zakresie postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym wykonywana jest przez przedsiębiorstwo użyteczności publicznej Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.

Gminie, na terenie której znajduje się Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych, przysługuje coroczna opłata z budżetu państwa:

- od dnia przyjęcia pierwszego odpadu do składowiska do dnia podjęcia decyzji o zamknięciu składowiska - w wysokości 400% dochodów z tytułu podatku od nieruchomości znajdujących się na terenie gminy, uzyskanych w roku poprzednim, jednak nie większa niż 8 550 tys. zł;
- po podjęciu decyzji o zamknięciu składowiska - w wysokości 50% dochodów z tytułu podatku od nieruchomości znajdujących się na terenie gminy, uzyskanych w roku zamknięcia składowiska, przez okres odpowiadający okresowi eksploatacji składowiska.

2.2.1.9 Rozdział VIII – „Transport materiałów jądrowych, źródeł promieniowania jonizującego, odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego”

Materiały jądrowe przygotowuje się do transportu i transportuje w sposób uniemożliwiający wystąpienie samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej rozszczepienia jądrowego i z zachowaniem zasad ochrony fizycznej. Przygotowując do transportu i transportując materiały jądrowe, źródła promieniowania jonizującego, z wyłączeniem urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące, odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe należy uwzględnić zagrożenia, jakie mogą stwarzać ich właściwości fizykochemiczne, a także spełnić wymagania i warunki obowiązujące w transporcie towarów niebezpiecznych, określone w odrębnych przepisach. Szerzej o tych przepisach będzie mowa w Rozdziale 10 niniejszego podręcznika (Przepisy transportowe).

Narażenie osób uczestniczących w transporcie, w tym również dokonujących załadunku i wyładunku przewożonych materiałów jądrowych, odpadów promieniotwórczych, wypalonego paliwa jądrowego i źródeł promieniowania jonizującego, z wyłączeniem urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące, podlega kontroli, a otrzymane przez te osoby dawki promieniowania nie mogą przekraczać dawek granicznych określonych dla pracowników w przepisach

Minister właściwy do spraw wewnętrznych może określić, w drodze rozporządzenia, wykaz przejść granicznych, przez które mogą być wwożone na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej i wywożone z tego terytorium materiały jądrowe, źródła promieniotwórcze, urządzenia zawierające takie źródła, odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe, kierując się koniecznością zapewnienia kontroli zgodności zgłoszonej przesyłki z faktyczną jej zawartością oraz mając na względzie konieczność zapewnienia ochrony przed promieniowaniem jonizującym pracowników i osób z ogółu ludności.

2.2.1.10 Rozdział VIIIA – „Przywóz na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, wywóz z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej oraz tranzyt przez to terytorium odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego”

Wywóz z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego; przywóz na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego z państwa trzeciego oraz tranzyt przez to terytorium odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego, przemieszczanych pomiędzy państwami trzecimi, w przypadku, gdy Rzeczpospolita Polska jest pierwszym państwem członkowskim wymaga zezwolenia wydanego przez Prezesa PAA.

Zezwolenie wydaje się na czas określony, nie dłuższy niż 3 lata. Zezwolenie może zostać wydane na pojedyncze przemieszczenie albo na wielokrotne przemieszczenia.

Zezwolenie może zostać wydane na wielokrotne przemieszczenia przy łącznym spełnieniu następujących warunków:

- odpady promieniotwórcze lub wypalone paliwo jądrowe, których dotyczy wnioski mają zasadniczo takie same właściwości fizyczne, chemiczne i promieniotwórcze;
- przemieszczenia zostaną przeprowadzone pomiędzy tym samym posiadaczem i odbiorcą oraz będą podlegać tym samym właściwym organom;
- w sytuacji, gdy przemieszczenia wymagają tranzytu przez państwo trzecie – przemieszczenia zostaną przeprowadzone przez to samo przejście graniczne, chyba, że odpowiednie właściwe organy uzgodniły między sobą inaczej.

Zakazany jest wywóz z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego do:

- miejsca przeznaczenia położonego na południe od 60 stopnia szerokości geograficznej południowej;
- państwa trzeciego, które jest stroną Umowy o partnerstwie między członkami grupy państw Afryki, Karaibów i Pacyfiku, z jednej strony, a Wspólnotą Europejską i jej państwami członkowskimi, z drugiej strony (Umowa AKPE – WE z Kotonu);
- państwa trzeciego, które nie posiada możliwości administracyjnych, technicznych lub struktury regulacyjnej dla bezpiecznego postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym.

Zakazany jest przywóz na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej wypalonego paliwa jądrowego w celu składowania

Prezes PAA wydaje odpowiednio zezwolenie albo zgodę na przywóz na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, wywóz z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej lub tranzyt przez to terytorium odpadów promieniotwórczych po ich przetworzeniu, odpadów promieniotwórczych powstałych w wyniku przerobu wypalonego paliwa jądrowego, innych produktów powstałych w wyniku przetworzenia odpadów promieniotwórczych lub przerobu wypalonego paliwa jądrowego, jeżeli poprzednio wydał zezwolenie albo zgodę na przywóz, wywóz lub tranzyt tych odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego w celu ich przetworzenia lub przerobu.

2.2.1.11 Rozdział IX – „Nadzór i kontrola w zakresie przestrzegania warunków bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej”

Wykonywanie działalności powodującej lub mogącej powodować narażenie ludzi i środowiska na promieniowanie jonizujące podlega nadzorowi i kontroli w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Nadzór i kontrola wykonywane są:

- przez **organy dozoru jądrowego** - jeżeli organem właściwym do wydania zezwolenia albo przyjęcia zgłoszenia jest Prezes PAA;
- przez **państwowego wojewódzkiego inspektora sanitarnego, komendanta wojskowego ośrodka medycyny prewencyjnej lub państwowego inspektora sanitarnego** Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji – w zakresie działalności, na której wykonywanie organy te wydają zezwolenia.

Organami dozoru jądrowego są:

- Prezes PAA jako naczelny organ dozoru jądrowego;
- Główny Inspektor Dozoru Jądrowego jako organ wyższego stopnia w stosunku do inspektorów dozoru jądrowego;
- inspektorzy dozoru jądrowego.

Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego powołuje, spośród inspektorów dozoru jądrowego, i odwołuje Prezes PAA. Inspektorów dozoru jądrowego powołuje i odwołuje Prezes PAA na wniosek Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego.

Inspektorem dozoru jądrowego może być osoba, która:

- posiada wykształcenie wyższe w zakresie fizyki, chemii, kierunków technicznych lub innych w specjalnościach przydatnych w dozorze jądrowym;
- nie była karana za przestępstwa umyślne;
- odbyła praktykę i zdała egzamin kwalifikacyjny na stanowisko inspektora dozoru jądrowego w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej przed komisją powołaną przez Prezesa PAA;
- posiada orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do pracy w warunkach narażenia.

Do zadań organów dozoru jądrowego należy w szczególności:

- wydawanie zezwoleń i innych decyzji w sprawach związanych z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną, na zasadach i w trybie określonych w ustawie;
- przeprowadzanie kontroli w obiektach jądrowych oraz w jednostkach organizacyjnych posiadających materiały jądrowe, źródła promieniowania jonizującego, odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe;
- wydawanie poleceń doraźnych;
- zatwierdzanie programów szkoleń, z wyłączeniem programów szkoleń opracowywanych przez kierowników jednostek organizacyjnych stosujących aparaty

rentgenowskie do celów diagnostyki medycznej, radiologii zabiegowej, radioterapii powierzchniowej i radioterapii schorzeń nienowotworowych.

Inspektorzy dozoru jądrowego prowadzą kontrolę na podstawie upoważnienia wydanego przez Prezesa PAA albo Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego, z wyjątkiem sytuacji, gdy istnieje zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzi albo dla środowiska naturalnego. W takim przypadku inspektorzy dozoru jądrowego mogą prowadzić kontrolę na podstawie legitymacji służbowej. W przypadku takiej kontroli upoważnienie do jej przeprowadzenia doręcza się kierownikowi kontrolowanej jednostki organizacyjnej w terminie 3 dni od dnia rozpoczęcia kontroli.

Organy dozoru jądrowego w związku z prowadzoną kontrolą mają prawo:

- wstępu o każdej porze do środków transportu i na teren jednostek organizacyjnych, w których są wytwarzane, stosowane, przechowywane, składowane lub transportowane materiały jądrowe, źródła promieniowania jonizującego, odpady promieniotwórcze lub wypalone paliwo jądrowe;
- wglądu do dokumentów dotyczących bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w kontrolowanej jednostce organizacyjnej;
- sprawdzać, czy działalność jednostki organizacyjnej jest wykonywana zgodnie z przepisami dotyczącymi bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz z wymaganiami i warunkami określonymi w zezwoleniach;
- przeprowadzić, w zależności od potrzeb, niezależne pomiary techniczne i dozymetryczne;
- żądać pisemnych lub ustnych informacji, jeżeli jest to niezbędne do wyjaśnienia sprawy.

Organy dozoru jądrowego w związku z wykonywaniem czynności kontrolnych korzystają z ochrony przewidzianej w Kodeksie karnym dla funkcjonariuszy publicznych.

W razie stwierdzenia w czasie kontroli zagrożenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej organy dozoru jądrowego, w celu usunięcia takiego zagrożenia, wydają polecenia doraźne zawierające nakazy lub zakazy określonych działań. Polecenia doraźne mające na celu usunięcie bezpośredniego zagrożenia podlegają natychmiastowemu wykonaniu. Polecenia te są wydawane w formie pisemnej, a w wyjątkowych przypadkach - ustnej, przy czym powinny być niezwłocznie potwierdzone na piśmie. Kierownik kontrolowanej jednostki organizacyjnej może wystąpić z wnioskiem o uchylenie lub zmianę polecenia doraźnego do Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego, jeżeli polecenie to zostało wydane przez inspektora dozoru jądrowego, albo do Prezesa PAA, jeżeli zostało ono wydane przez Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego. Wystąpienie z takim wnioskiem nie wstrzymuje wykonania polecenia doraźnego.

W razie stwierdzenia w czasie kontroli nieprawidłowości mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną, Prezes PAA może skierować wystąpienie pokontrolne w sprawie usunięcia tych nieprawidłowości do kierownika kontrolowanej jednostki organizacyjnej lub kierownika jednostki nadrzędnej. Kierownik jednostki, do której skierowano wystąpienie pokontrolne, jest obowiązany, w terminie 30 dni od dnia jego otrzymania, do zawiadomienia Prezesa PAA o terminie i sposobie usunięcia nieprawidłowości.

2.2.1.12 Rozdział X – „Ocena sytuacji radiacyjnej kraju”

Prezes PAA dokonuje systematycznej oceny sytuacji radiacyjnej kraju. W tym celu:

- zbiera, weryfikuje i analizuje informacje otrzymywane ze stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych, z placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych oraz od służb, które dysponują danymi niezbędnymi do oceny sytuacji radiacyjnej kraju, w tym służby meteorologicznej;
- weryfikuje i analizuje informacje uzyskiwane z innych źródeł;
- przyjmuje i weryfikuje informacje o zdarzeniach radiacyjnych;
- tworzy bazy danych i systemy informatyczne istotne dla oceny sytuacji radiacyjnej kraju;
- analizuje i prognozuje rozwój sytuacji radiacyjnej kraju oraz zagrożenia ludności i środowiska na podstawie zebranych informacji oraz na podstawie danych zawartych w bazach.

Zadania te Prezes PAA realizuje przy pomocy wydzielonego w strukturze Państwowej Agencji Atomistyki Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych („CEZAR”).

W przypadku gdy informacje otrzymane ze stacji i placówek są niewystarczające dla dokonania oceny sytuacji radiacyjnej kraju, Prezes PAA prowadzi pomiary mocy dawki promieniowania jonizującego i skażeń promieniotwórczych w wybranych miejscach na terenie kraju nieobjętych monitoringiem prowadzonym przez stacje i placówki.

Stacje i placówki działają w Państwowej Agencji Atomistyki, w jednostkach Polskiej Akademii Nauk i w jednostkach ministrów właściwych do spraw wewnętrznych, środowiska, gospodarki, szkolnictwa wyższego, rolnictwa, zdrowia oraz Ministra Obrony Narodowej.

Do zadań stacji należy:

- prowadzenie ciągłych pomiarów mocy dawki promieniowania gamma;

- automatyczne wykrywanie i sygnalizowanie przekroczenia o 15% wartości mocy dawki, spowodowanego obecnością sztucznych substancji promieniotwórczych;
- natychmiastowe, automatyczne przesyłanie danych pomiarowych do Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych;
- zapewnienie przesyłania danych pomiarowych w sposób dostosowany do modeli obliczeniowych służących do oceny sytuacji radiacyjnej.

Do zadań placówek należy:

- wykrywanie, identyfikacja i pomiar skażeń promieniotwórczych w środowisku, artykułach rolno-spożywczych i produktach żywnościowych;
- wstępne opracowywanie wyników pomiarów i przekazywanie ich Prezesowi Agencji.

Prezes PAA koordynuje działania stacji i placówek, a w szczególności:

- współdziała z ministrami właściwymi do spraw wewnętrznych, środowiska, gospodarki, szkolnictwa wyższego, rolnictwa, zdrowia i Ministrem Obrony Narodowej oraz z Prezesem Polskiej Akademii Nauk;
- zatwierdza techniki pomiarowe, programy pomiarowe i organizację pomiarów;
- współpracuje z właściwymi jednostkami innych państw w zakresie wykrywania i pomiarów skażeń promieniotwórczych;
- w sytuacji prawdopodobieństwa wystąpienia lub wystąpienia zdarzenia radiacyjnego określa:
 - częstotliwość przekazywania przez stacje wyników pomiarów do Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych,
 - miejsca, częstotliwość oraz zakres pomiarów wykonywanych przez placówki, a także częstotliwość przekazywania przez nie wyników pomiarów do Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych.

Prezes PAA, wykonując zadania wynikające z międzynarodowego systemu powiadamiania o zdarzeniach radiacyjnych w zakresie wczesnego powiadamiania o awarii jądrowej, pomocy w przypadku awarii jądrowej lub zagrożenia radiacyjnego, ochrony fizycznej materiałów jądrowych i o nielegalnym obrocie tymi materiałami, jak również realizując zobowiązania Rzeczypospolitej Polskiej wynikające z dwustronnych umów międzynarodowych, powołuje krajowe punkty kontaktowe.

Na żądanie Prezesa Agencji instytucje, organizacje i osoby posiadające dane i informacje niezbędne dla analizy i oceny sytuacji radiacyjnej kraju obowiązane są do ich nieodpłatnego udostępnienia.

Na podstawie oceny sytuacji radiacyjnej kraju Prezes Agencji:

- ogłasza komunikaty dla ludności o sytuacji radiacyjnej, w tym o poziomie skażeń promieniotwórczych w warunkach normalnych i w sytuacji zdarzeń radiacyjnych;
- informuje o powstaniu zagrożenia publicznego o zasięgu wojewódzkim lub krajowym odpowiednio właściwego wojewodę lub Radę Ministrów;
- przekazuje przewodniczącemu odpowiedniego rządowego zespołu do spraw kryzysowych informacje o zdarzeniu radiacyjnym oraz prognozy rozwoju sytuacji radiacyjnej kraju.

2.2.1.13 Rozdział XI – „Postępowanie w przypadku zdarzeń radiacyjnych”

Tematyka dotycząca zdarzeń radiacyjnych zostanie obszernie przedstawiona w Rozdziale 12 niniejszego podręcznika wraz z przywołaniem aktów prawnych dotyczących tej tematyki. Dlatego w tej części omawiania Prawa Atomowego, pominiemy omówienie tego rozdziału.

2.2.1.14 Rozdział XII – „Odpowiedzialność cywilna za szkody jądrowe”

Poprzez szkodę jądrową rozumiemy:

- szkodę na osobie,
 - szkodę w mieniu,
 - szkodę w środowisku jako dobru wspólnym - koszty zastosowanych środków mających na celu przywrócenie stanu środowiska naturalnego, jako dobra wspólnego, sprzed jego naruszenia, chyba że naruszenie jest nieznaczne
- w zakresie, w jakim szkoda powstała lub wynika z promieniowania jonizujące emitowanego przez jakiekolwiek źródło promieniowania wewnątrz urządzenia jądrowego lub emitowanego przez paliwo jądrowe, materiały promieniotwórcze, odpady lub materiał jądrowy, pochodzące z urządzenia jądrowego, powstałe w nim lub wprowadzone do niego, jeżeli wynikają one z właściwości promieniotwórczych tej substancji lub z połączenia właściwości promieniotwórczych z trującymi, wybuchowymi lub innymi niebezpiecznymi właściwościami takiej substancji;

Naprawienie szkody jądrowej następuje na zasadach określonych w przepisach Kodeksu cywilnego, z zastrzeżeniem wyjątków przewidzianych w niniejszej ustawie. Naprawienie szkody jądrowej w środowisku naturalnym jako dobru wspólnym polega na zwrocie kosztów środków przywracających stan środowiska naturalnego sprzed jego naruszenia zastosowanych przez upoważnione do tego organy lub na podstawie ich decyzji przez inne podmioty. Naprawienie szkody jądrowej obejmuje także zwrot kosztów środków zapobiegawczych.

Osoba eksploatująca ponosi wyłączną odpowiedzialność za szkodę jądrową spowodowaną wypadkiem jądrowym w urządzeniu jądrowym lub związaną z tym urządzeniem, chyba że szkoda nastąpiła bezpośrednio wskutek działań wojennych lub konfliktu zbrojnego.

W czasie transportu materiałów jądrowych odpowiedzialność ponosi osoba eksploatująca urządzenie jądrowe, z którego ten materiał został wysłany, chyba że umowa z odbiorcą stanowi inaczej.

Jeżeli poszkodowany, na skutek umyślnego zachowania, przyczynił się do powstania lub zwiększenia szkody, sąd może zwolnić całkowicie lub częściowo osobę eksploatującą z obowiązku naprawienia szkody w odniesieniu do szkody doznanej przez poszkodowanego.

Osoba eksploatująca jest obowiązana do zawarcia umowy ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej za wyrządzoną szkodę jądrową. Jeżeli wypadek jądrowy, oprócz szkody w mieniu lub środowisku, wyrządził również szkodę na osobie, 10% sumy gwarancyjnej ubezpieczenia przeznacza się na zabezpieczenie roszczeń z tytułu szkody jądrowej na osobie. Jeżeli w okresie 5 lat od dnia wypadku jądrowego roszczenia z tytułu szkody na osobie dochodzone od osoby eksploatującej nie przewyższają łącznie sumy gwarancyjnej przeznaczonej wyłącznie na zaspokojenie takich roszczeń, pozostała część sumy gwarancyjnej będzie przeznaczona na zaspokojenie roszczeń z tytułu szkody w mieniu lub w środowisku, a także roszczeń z tytułu szkody na osobie, dochodzonych przed upływem 10 lat od dnia wypadku jądrowego.

Skarb Państwa gwarantuje wypłatę odszkodowania z tytułu szkody jądrowej na osobie w zakresie, w jakim nie mogła być zaspokojona przez zakład ubezpieczeń z tytułu zawartej umowy ubezpieczenia.

Roszczenie o naprawienie szkody jądrowej na osobie nie przedawnia się.

Roszczenie o naprawienie szkody jądrowej w mieniu lub w środowisku przedawnia się z upływem trzech lat od dnia, w którym poszkodowany dowiedział się lub powinien był się dowiedzieć o szkodzie i osobie odpowiedzialnej. Jednakże roszczenie wygasa z upływem dziesięciu lat od dnia wypadku jądrowego. W przypadku gdy szkoda jądrowa powstała w wyniku wypadku jądrowego na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, sądami właściwymi do rozpatrywania pozwów w sprawach odszkodowań za szkody jądrowe są sądy okręgowe. W sprawach postępowania w zakresie odszkodowań stosuje się przepisy Kodeksu postępowania cywilnego.

2.2.1.15 Rozdział XIII – „Prezes Państwowej Agencji Atomistyki”

Rozdział ten opisuje tryb powoływania, rolę i odpowiedzialność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki w systemie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce.

Prezes Państwowej Agencji Atomistyki jest centralnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w

zakresie określonym ustawą. Prezesa PAA powołuje Prezes Rady Ministrów, spośród osób wyłonionych w drodze otwartego i konkurencyjnego naboru, na wniosek ministra właściwego do spraw środowiska. Prezes Rady Ministrów odwołuje Prezesa PAA. Minister właściwy do spraw środowiska, na wniosek Prezesa PAA, powołuje wiceprezesów PAA, spośród osób wyłonionych w drodze otwartego i konkurencyjnego naboru. Minister właściwy do spraw środowiska odwołuje, na wniosek Prezesa PAA, wiceprezesów PAA.

Stanowisko Prezesa PAA może zajmować osoba, która:

- posiada tytuł zawodowy magistra lub równorzędny;
- jest obywatelem polskim;
- korzysta z pełni praw publicznych;
- nie była skazana prawomocnym wyrokiem za umyślne przestępstwo lub umyślne przestępstwo skarbowe;
- posiada kompetencje kierownicze;
- posiada co najmniej 6-letni staż pracy, w tym co najmniej 3-letni staż pracy na stanowisku kierowniczym;
- posiada wykształcenie i wiedzę z zakresu spraw należących do właściwości Prezesa PAA.

Do zakresu działania Prezesa PAA należy wykonywanie zadań związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej kraju, a w szczególności:

- przygotowywanie projektów dokumentów dotyczących polityki państwa w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej uwzględniających program rozwoju energetyki jądrowej i zagrożenia wewnętrzne i zewnętrzne;
- sprawowanie nadzoru nad działalnością powodującą lub mogącą powodować narażenie ludzi i środowiska na promieniowanie jonizujące oraz przeprowadzanie kontroli w tym zakresie, w tym wydawanie decyzji w sprawach zezwoleń i uprawnień oraz innych decyzji przewidzianych w ustawie;
- wydawanie zaleceń technicznych i organizacyjnych w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej;
- wykonywanie zadań związanych z oceną sytuacji radiacyjnej kraju w warunkach normalnych i w sytuacji zdarzeń radiacyjnych oraz przekazywanie właściwym organom i ludności informacji o tej sytuacji;
- wykonywanie zadań wynikających z zobowiązań Rzeczypospolitej Polskiej w zakresie prowadzenia ewidencji i kontroli materiałów jądrowych, ochrony fizycznej materiałów i obiektów jądrowych, szczególnej kontroli obrotu z zagranicą towarami i technologiami jądrowymi oraz innych zobowiązań wynikających z umów międzynarodowych dotyczących bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej;
- prowadzenie działań związanych z informacją społeczną, edukacją i popularyzacją oraz informacją naukowo-techniczną i prawną w zakresie atomistyki, w tym przekazywanie ludności informacji na temat promieniowania jonizującego i jego

oddziaływania na zdrowie człowieka i na środowisko oraz o możliwych do zastosowania środkach w przypadku zdarzeń radiacyjnych;

- współdziałanie z organami administracji rządowej i samorządowej w sprawach związanych z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną oraz w sprawach badań naukowych w dziedzinie atomistyki;
- wykonywanie zadań związanych z obronnością i obroną cywilną kraju oraz ochroną informacji niejawnych, wynikających z odrębnych przepisów;
- przygotowywanie opinii do projektów działań technicznych związanych z pokojowym wykorzystywaniem energii atomowej na potrzeby organów administracji rządowej i samorządowej;
- współpraca z właściwymi jednostkami innych państw i organizacjami międzynarodowymi w zakresie objętym ustawą oraz wspomaganie kontaktów polskich jednostek naukowych i przemysłowych z tymi organizacjami;
- opracowywanie projektów aktów prawnych w zakresie objętym ustawą i uzgadnianie ich w trybie określonym w regulaminie prac Rady Ministrów;
- opiniowanie projektów aktów prawnych opracowywanych przez uprawnione organy;
- przedstawianie Prezesowi Rady Ministrów corocznych sprawozdań ze swojej działalności oraz ocen stanu bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej kraju.

Prezes PAA wykonuje swoje zadania przy pomocy Państwowej Agencji Atomistyki.

Przy PAA działa Rada do Spraw Atomistyki, jako organ doradczy i opiniodawczy Prezesa PAA. Prezes Rady Ministrów, na wniosek Prezesa PAA, powołuje i odwołuje Przewodniczącego Rady. Członków Rady powołuje i odwołuje Prezes PAA.

2.2.1.16 Rozdział XIV – „Państwowe Przedsiębiorstwo Użyteczności Publicznej „Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych””

Rozdział dotyczy utworzenia PPUP pod nazwą „Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych” (ZUOP), podaje jego organizację, zasady działania, obowiązki i odpowiedzialność. ZUOP posiada swoją siedzibę w Otwocku-Świerku. Został powołany do wykonywania działalności w zakresie postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, a przede wszystkim do zapewnienia stałej możliwości składowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego. ZUOP wykonuje również działalność polegającą na odbiorze, transporcie, przechowywaniu i składowaniu materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych oraz innych substancji promieniotwórczych. ZUOP posiada osobowość prawną.

Organem Zakładu jest dyrektor, który zarządza Zakładem i reprezentuje go na zewnątrz. Dyrektora Zakładu powołuje i odwołuje minister właściwy do spraw Skarbu Państwa, który dokonuje w stosunku do niego czynności z zakresu Prawa pracy. Dyrektor może powoływać i odwoływać zastępców dyrektora oraz pełnomocników Zakładu, którzy działają samodzielnie w granicach ich umocowania. Udzielenie pełnomocnictwa wymaga formy pisemnej pod rygorem nieważności.

W razie konieczności dokonania przez Zakład nieplanowanego odbioru, transportu, przetwarzania, przechowywania lub składowania odpadów promieniotwórczych lub innych substancji promieniotwórczych pochodzących z nielegalnego obrotu, niewiadomego pochodzenia, z działalności jednostki organizacyjnej, która kończąc działalność stała się niewypłacalna, lub powstałych w wyniku skażenia środowiska, którego sprawca nie jest znany, koszty tych usług są pokrywane z budżetu państwa.

2.2.1.17 Rozdział XV – „Administracyjne kary pieniężne i przepisy karne”

Kierownikowi jednostki organizacyjnej, który:

- bez wymaganego zezwolenia lub wbrew jego warunkom, albo bez wymaganego zgłoszenia podejmuje działalność albo dokonuje przywozu lub wywozu albo nie dopełnia obowiązku, o którym mowa przepisach, albo zatrudnia pracowników bez uprawnień, kwalifikacji lub umiejętności określonych w przepisach ustawy,
 - dokonuje przywozu na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, wywozu z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej lub tranzytu przez to terytorium odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego bez zezwolenia lub bez zgody lub wbrew ich warunkom,
 - będąc odpowiedzialnym za bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną, dopuszcza do narażenia pracownika lub innej osoby,
 - nie dopełnia obowiązków w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej przy pracy z materiałami jądrowymi, źródłami promieniowania jonizującego, odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym lub przy ich przygotowaniu do transportu i składowaniu,
 - utracił lub pozostawił bez właściwego zabezpieczenia powierzony mu materiał jądrowy, źródło promieniowania jonizującego albo odpady promieniotwórcze lub wypalone paliwo jądrowe,
 - nie dopełnia obowiązku kontroli dozymetrycznej lub prowadzenia ewidencji materiałów jądrowych, źródeł promieniowania jonizującego, odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego,
 - uniemożliwia lub utrudnia przeprowadzenie czynności kontrolnych w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej albo nie udziela informacji lub udziela informacji nieprawdziwej albo zataja prawdę w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej,
- wymierza się karę pieniężną w wysokości nieprzekraczającej pięciokrotności kwoty przeciętnego wynagrodzenia w gospodarce narodowej w roku kalendarzowym poprzedzającym popełnienie czynu, ogłaszanego przez Prezesa Głównego Urzędu

Statystycznego na podstawie ustawy z dnia 17 grudnia 1998 r. o emeryturach i rentach z funduszu Ubezpieczeń Społecznych

Pracownikowi zatrudnionemu w obiekcie jądrowym, który nie zawiadamia kierownika jednostki organizacyjnej lub organu dozoru jądrowego o zdarzeniu lub stanie mogącym spowodować zagrożenie dla bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, wymierza się karę pieniężną w wysokości nieprzekraczającej dwukrotności przeciętnego wynagrodzenia, o którym mowa powyżej.

Kary pieniężne nakłada, w formie decyzji administracyjnej:

- Główny Inspektor Dozoru Jądrowego - jeżeli organem właściwym do wydania zezwolenia albo przyjęcia zgłoszenia jest Prezes Agencji;
- państwowy wojewódzki inspektor sanitarny, komendant wojskowego ośrodka medycyny prewencyjnej lub państwowy inspektor sanitarny Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji - jeżeli organy te są właściwe do wydania zezwolenia.

Decyzji dotyczącej nałożenia kary nadaje się rygor natychmiastowej wykonalności.

Nie można nałożyć kary pieniężnej, jeżeli od dnia popełnienia czynu upłynęło 5 lat. Kary pieniężnej nie pobiera się po upływie 5 lat od dnia wydania ostatecznej decyzji o nałożeniu kary.

Kto nie stosuje się do zakazu wypasu zwierząt na skażonym terenie lub zakazu żywienia zwierząt skażonymi środkami żywienia zwierząt i pojenia skażoną wodą, podlega karze aresztu lub grzywny.

Rozdział podaje jeszcze inne przypadki związane z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną, za które może zostać nałożona kara.

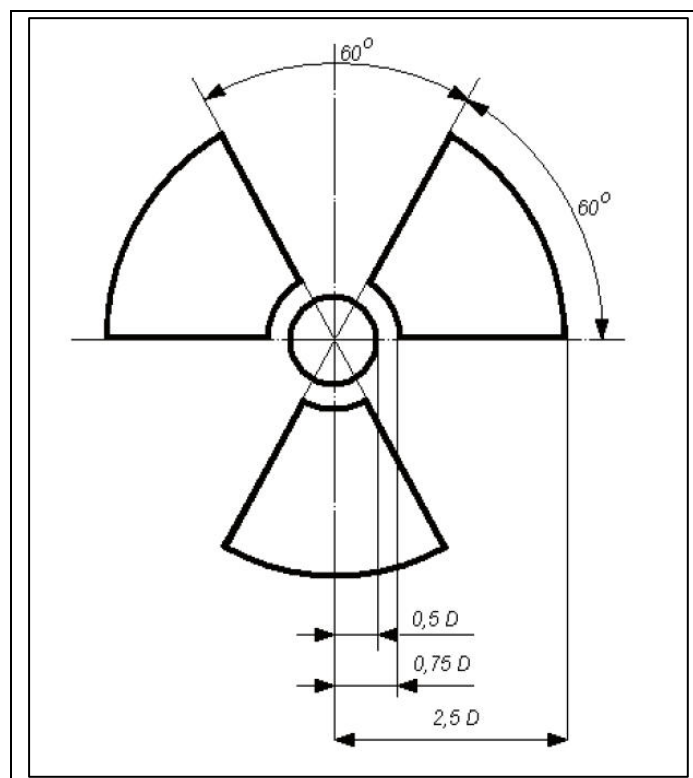
2.2.1.18 ZAŁĄCZNIKI do Prawa Atomowego

Załącznik 1 – Określenia: Dawki pochłoniętej, równoważnej i skutecznej (efektywnej)

Wszystkie określenia, definicje, wzory i jednostki są podane w niniejszym podręczniku w Rozdziale dotyczącym dawek promieniowania jonizującego.

Załącznik 2 – Poziomy progowe aktywności oraz stężenia promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych.

Załącznik 3 – Symbol promieniowania jonizującego.



2.2.2. Przepisy wykonawcze do Ustawy PRAWO ATOMOWE

W tym rozdziale zostaną podane akty prawne, które uszczegółowiają przepisy prawne zawarte w ustawie Prawo Atomowe. Niektóre z tych przepisów zostaną omówione trochę bardziej szczegółowo, inne będą tylko wymienione z nazwy.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 20/2005, poz. 168)

Rozporządzenie określa dawki graniczne promieniowania jonizującego, wskaźniki pozwalające na wyznaczenie dawek stosowane przy ocenie narażenia oraz sposób i częstotliwość dokonywania oceny narażenia pracowników i osób z ogółu ludności.

Na temat dawek granicznych jest w tym podręczniku poświęcony oddzielny Rozdział.

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 (Dz. U. nr 137/2002, poz. 1153 oraz Dz. U. nr 98/2004, poz. 980)

Rozporządzenie określa :

- przypadki, w których wykonywanie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia;
- przypadki, w których działalność związana z narażeniem może być wykonywana na podstawie zgłoszenia;
- graniczne wartości aktywności całkowitej i stężenia promieniotwórczego izotopów promieniotwórczych, jako kryteria zwolnienia z obowiązku uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia.

Obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia nie podlega:

1. wytwarzanie, przetwarzanie, obrót, składowanie, transport lub stosowanie substancji zawierających izotopy promieniotwórcze, których aktywność całkowita lub stężenie promieniotwórcze nie przekraczają wartości podanych w załączniku do rozporządzenia, z zastrzeżeniem pkt 4;
2. stosowanie urządzenia zawierającego zamknięte źródło promieniotwórcze, którego aktywność całkowita lub stężenie promieniotwórcze przekraczają wartości podanych w załączniku do rozporządzenia, jeżeli są spełnione następujące warunki:
 - a. zostało wyprodukowane i wprowadzone do obrotu zgodnie z zezwoleniem, udzielonym jednostce organizacyjnej je produkującej lub wprowadzającej do obrotu albo jego typ został zatwierdzony w kraju członkowskim Unii Europejskiej,
 - b. podczas jego stosowania moc dawki promieniowania w odległości 0,1 m od dowolnej, dostępnej powierzchni tego urządzenia nie przekracza 1 mikroswerta na godzinę (mSv/h),
 - c. na jego obudowie umieszczono informację, że urządzenie zawiera źródło promieniotwórcze oraz że stosuje się je zgodnie z instrukcją obsługi,
 - d. w instrukcji obsługi do niego dołączonej są podane:
 - nazwa producenta i dystrybutora oraz numer zezwolenia na produkcję lub obrót tym urządzeniem,
 - informacja o źródle promieniotwórczym (rodzaj i aktywność izotopu promieniotwórczego oraz data określenia tej aktywności),

- maksymalna wartość mocy dawki, o której mowa w lit. b,
 - informacja, że eksploatacja urządzenia zgodnie z instrukcją obsługi nie stwarza zagrożenia i nie wymaga zezwolenia,
 - sposób postępowania z urządzeniem i z zawartym w nim źródłem po zakończeniu jego użytkowania;
3. działalność polegająca na wytwarzaniu, przetwarzaniu, obrocie, składowaniu, transporcie lub stosowaniu materiałów, surowców lub odpadów, w szczególności surowców mineralnych, nawozów sztucznych, ilów, popiołów, żużli i osadów kopalnianych, zawierających naturalne izotopy promieniotwórcze, jeżeli średnie stężenie promieniotwórcze tych izotopów nie przekracza wartości podanych w załączniku do rozporządzenia, a maksymalne stężenie promieniotwórcze wynikające z niejednorodności materiału przekracza te wartości, nie więcej niż 10-krotnie dla reprezentatywnej próbki o masie 1 kg;
4. działalność określona w pkt 1, w której aktywność całkowita lub stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych przekracza wartości podane w załączniku do rozporządzenia, lecz nie więcej niż 100-krotnie, lub gdy dotyczy ona izotopów promieniotwórczych niewymienionych w załączniku, jeżeli są spełnione łącznie następujące warunki:
- a. dawka skuteczna spowodowana wykonywaniem danej działalności, jaką może otrzymać dowolna osoba, nie przekracza 10 mSv w ciągu roku kalendarzowego,
 - b. wartość zbiorowej obciążającej dawki skutecznej definiowanej jako iloczyn średniej wartości obciążającej dawki skutecznej wyrażonej w siwertach (Sv) dla osób i grupy narażonej w wyniku danej działalności i liczby osób w tej grupie, spowodowanej wykonywaniem danej działalności przez okres jednego roku kalendarzowego nie przekracza 1;
5. działalność polegająca na:
- a. zamierzonym dodawaniu substancji promieniotwórczych w procesie produkcyjnym wyrobów powszechnego użytku i artykułów medycznych oraz obrocie tymi wyrobami i artykułami,
 - b. zamierzonym podawaniu substancji promieniotwórczych ludziom i zwierzętom w celu medycznej lub weterynaryjnej diagnostyki, leczenia lub badań naukowych
 - jeżeli aktywność całkowita lub stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych zawartych w tych substancjach nie przekracza 0,1 wartości podanych w załączniku do rozporządzenia;

6. stosowanie lamp służących do odtwarzania obrazu lub innych urządzeń elektrycznych pracujących przy różnicy potencjałów nie większej niż 30 kV, jeżeli podczas normalnej pracy urządzenia moc dawki w odległości 0,1 m od dowolnej, dostępnej jego powierzchni nie przekracza 1 mSv/h;
7. stosowanie urządzeń elektrycznych innych niż wymienione w pkt 6, dopuszczonych do stosowania na podstawie odrębnych przepisów, jeżeli podczas normalnej pracy urządzenia moc dawki w odległości 0,1 m od dowolnej, dostępnej jego powierzchni nie przekracza 1 mSv/h.

Działalność:

- polegająca na wytwarzaniu, przetwarzaniu, obrocie, składowaniu, transporcie lub stosowaniu substancji zawierających izotopy promieniotwórcze, w tym rozszczepialne, których aktywność całkowita lub stężenie promieniotwórcze przekracza wartości podane w załączniku do rozporządzenia nie więcej niż 100-krotnie, jeżeli nie są spełnione warunki określone powyżej w pkt 4 w lit. a i b;
- określona powyżej w pkt 5, jeżeli aktywność całkowita lub stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych w substancjach promieniotwórczych, których dotyczy ta działalność, jest wyższa niż 0,1 wartości podanych w załączniku do rozporządzenia, lecz nie przekracza tych wartości

- może być wykonywana na podstawie zgłoszenia.

Przy wykonywaniu działalności ze źródłami promieniotwórczymi i materiałami jądrowymi zawierającymi różne izotopy, suma stosunków stężeń promieniotwórczych lub suma stosunków aktywności tych izotopów do odpowiadających im granicznych wartości podanych w załączniku do rozporządzenia nie może przekraczać 1.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 sierpnia 2002 r. w sprawie inspektorów dozoru jądrowego (Dz. U. nr 137/2002, poz. 1154)

Rozporządzenie określa:

- szczegółowe warunki odbywania praktyki przez kandydatów na stanowisko inspektora dozoru jądrowego;
- szczegółowe warunki przeprowadzania egzaminu kwalifikacyjnego na stanowisko inspektora dozoru jądrowego;
- wzór zaświadczenia o uzyskaniu uprawnienia do zajmowania stanowiska inspektora dozoru jądrowego.

Kandydat na stanowisko inspektora dozoru jądrowego uprawnionego do sprawowania kontroli w innych niż określone w ust. 3 jednostkach organizacyjnych wykonujących

działalność związaną z narażeniem odbywa praktykę stopnia pierwszego i po jej zaliczeniu przystępuje do egzaminu kwalifikacyjnego stopnia pierwszego.

Praktyka stopnia pierwszego trwa 9 miesięcy, w tym:

- 6 miesięcy w jednostkach organizacyjnych, wykonujących działalność wymagającą zezwolenia Prezesa PAA lub w instytucjach zagranicznych, zgodnie z programem przygotowanym indywidualnie dla kandydata,
- 3 miesiące w Państwowej Agencji Atomistyki, w komórce właściwej w sprawach nadzoru zastosowań promieniowania jonizującego.

Kandydat na stanowisko inspektora dozoru jądrowego uprawnionego do sprawowania kontroli w jednostkach wykonujących działalność w obiektach jądrowych, jednostkach organizacyjnych zajmujących się wytwarzaniem i przerobem paliwa jądrowego, przetwarzaniem odpadów promieniotwórczych, przechowywaniem lub składowaniem odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego oraz transportem paliwa jądrowego po odbyciu praktyki stopnia pierwszego i po uzyskaniu pozytywnego wyniku egzaminu stopnia pierwszego odbywa praktykę stopnia drugiego i po jej zaliczeniu przystępuje do egzaminu kwalifikacyjnego stopnia drugiego. Praktykę stopnia drugiego trwającą 12 miesięcy kandydat odbywa w jednostkach podobnych jak praktykę stopnia pierwszego, w tym co najmniej 6 miesięcy w jednostce organizacyjnej posiadającej reaktor jądrowy, zgodnie z programem przygotowanym indywidualnie dla tego kandydata.

Program praktyki stopnia drugiego obejmuje w szczególności:

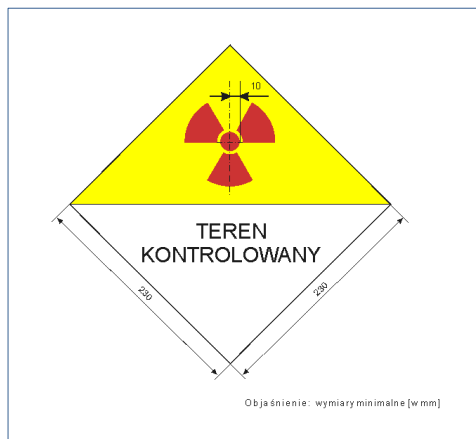
- analizę przepisów prawnych i umów międzynarodowych w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej,
- analizę dokumentacji będącej podstawą udzielenia zezwolenia na wykonywanie działalności wymagającej zezwolenia,
- udział w charakterze obserwatora w przeprowadzanych przez inspektorów dozoru jądrowego kontrolach.

W dalszej treści Rozporządzenie podaje tryb przeprowadzania egzaminów kwalifikacyjnych, podaje zakres materiału, jakiego znajomość jest sprawdzana u kandydatów w czasie egzaminów oraz dokładne zasady oceniania kandydatów na egzaminach.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007 r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych (Dz. U. nr 131/2007, poz. 910)

Rozporządzenie określa podstawowe wymagania dotyczące terenów kontrolowanych i nadzorowanych, w tym w szczególności:

- sposób oznakowania tych terenów, z uwzględnieniem wzorów znaków ostrzegawczych dla oznakowania granic terenu kontrolowanego i nadzorowanego;
- warunki dostępu i opuszczania tych terenów dla pracowników i innych osób;
- warunki, jakie muszą być spełnione dla wykonywania pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy na tych terenach, w szczególności odnośnie do zakresu programu pomiarów i wymagań, jakie muszą spełniać osoby wykonujące pomiary.



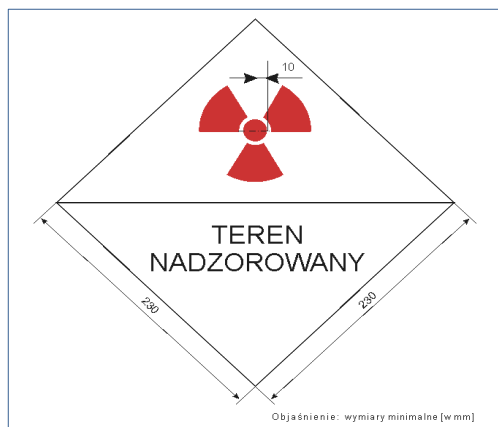
Znak ostrzegawczy jaki umieszcza się na granicy **terenu kontrolowanego**. Dodatkowo na granicy takiego terenu muszą pojawić się tablice informacyjne podające rodzaj substancji promieniotwórczych i źródeł promieniowania jonizującego oraz związane z nimi zagrożenie. Znaki ostrzegawcze i tablice informacyjne umieszcza się przy wejściu na teren kontrolowany. W przypadku wytyczenia

takiego terenu poza pomieszczeniem zamkniętym, zarówno znaki ostrzegawcze jak i tablice informacyjne umieszcza się w odległościach nie większych niż 10 metrów. Dostęp do terenu kontrolowanego, ograniczony przez zastosowanie środków technicznych (w szczególności drzwi, bramy, widoczne blokady) mają:

- pracownicy zatrudnieni na tym terenie,
- pacjenci poddawani zabiegom diagnostycznym lub terapeutycznym,
- za zgodą kierownika jednostki organizacyjnej lub upoważnionej przez niego osoby – inne przeszkolone osoby wyposażone w dawkomierze osobiste umożliwiające bezpośrednie określenie dawki od narażenia zewnętrznego otrzymanej w czasie przebywania na tym terenie,
- pracownicy organu, który wydał zezwolenie w zakresie bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej na wykonywanie działalności związanej z narażeniem na tym terenie, upoważnieni do prowadzenia kontroli.

Jeżeli na terenie kontrolowanym występuje możliwość rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych, dodatkowo należy zapewnić:

- przy wejściu – możliwość zmiany odzieży osobistej na odzież roboczą oraz pomiar skażeń osobistych i wnoszonego sprzętu,
- przy wyjściu – pojemniki na skażoną odzież, pomiar skażeń osobistych i wnoszonego sprzętu oraz środki i urządzenia do usuwania tych skażeń, zależne od prowadzonych prac, a także zmianę odzieży skażonej na nieskażoną.



Znak ostrzegawczy jaki umieszcza się przy wejściu na **teren nadzorowany**. Dodatkowo na granicy takiego terenu mogą być umieszczone tablice informacyjne podające rodzaj substancji promieniotwórczych i źródeł promieniowania jonizującego oraz związane z nimi zagrożenie. W przypadku wytyczenia terenu nadzorowanego poza pomieszczeniem zamkniętym, zarówno znaki ostrzegawcze jak i tablice informacyjne umieszcza się w odległościach nie większych niż 10 metrów. Dostęp do terenu nadzorowanego i jego opuszczanie

przez osoby inne niż pracownicy zatrudnieni na tym terenie podlega rejestracji.

W środowisku pracy na terenach kontrolowanych i nadzorowanych określa się warunki wykonywania pomiarów dozymetrycznych:

- ustala się, miejsce, czas i częstotliwość wykonywania takich pomiarów,
- ustala się rodzaje przeprowadzanych pomiarów dozymetrycznych,
- wskazuje się metody, przyrządy oraz procedury pomiarowe.

Zakres pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy obejmuje:

- pomiar mocy dawki oraz określenie rodzaju promieniowania,
- pomiar i identyfikację skażeń promieniotwórczych powierzchni i powietrza – w przypadku możliwości rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych.

Pomiary takie umożliwiają:

- ciągłą ocenę warunków pracy, w tym ocenę narażenia pracowników i innych osób znajdujących się na terenach kontrolowanych albo nadzorowanych,
- kontrolę przestrzegania limitów użytkowych dawek określonych w zezwoleniu na prowadzenie działalności na tych terenach,
- weryfikację granic terenu kontrolowanego i nadzorowanego,
- ocenę narażenia osób znajdujących się poza tymi terenami, spowodowanego prowadzoną działalnością, w tym w wyniku usuwania substancji promieniotwórczych z tych terenów.

Pomiary dozymetryczne w środowisku pracy mogą wykonywać osoby:

- posiadające uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej,
- przeszkolone przez inspektora ochrony radiologicznej w zakresie wykonywania pomiarów.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie stanowisk mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz inspektorów ochrony radiologicznej (Dz. U. nr 21/2005, poz. 173)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 140/2006, poz. 994)

Ten temat zostanie dokładnie przedstawiony w rozdziale niniejszego podręcznika zatytułowanym „Zasady bezpiecznej pracy z promieniowaniem jonizującym” (Rozdział 7).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 marca 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących rejestracji dawek indywidualnych (Dz. U. nr 131/2007, poz. 913)

Ten temat zostanie dokładnie przedstawiony w rozdziale niniejszego podręcznika zatytułowanym „Kontrola narażenia pracowników” (Rozdział 8).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie dokumentów wymaganych przy składaniu wniosku o wydanie zezwolenia na wykonywanie działalności związanej z narażeniem na działanie promieniowania jonizującego albo przy zgłoszeniu wykonywania tej działalności (Dz. U. nr 220/2002, poz. 1851, Dz. U. nr 98/2004, poz. 981 oraz Dz. U. nr 127/2006, poz. 883)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych zasad tworzenia obszaru ograniczonego użytkowania wokół obiektu jądrowego ze wskazaniem ograniczeń w jego użytkowaniu (Dz. U. nr 241/2002, poz. 2094)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. U. nr 230/2002, poz. 1925)

Rozporządzenie określa :

- sposób kwalifikowania odpadów promieniotwórczych do kategorii i podkategorii;

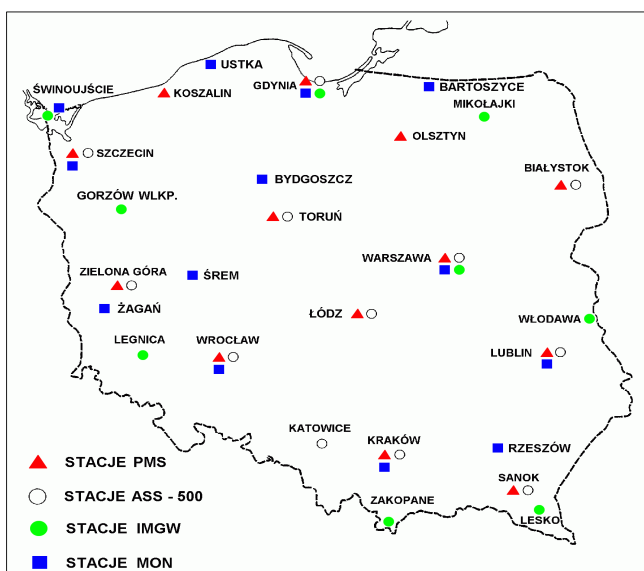
- sposób prowadzenia ewidencji i kontroli odpadów promieniotwórczych oraz wzór karty ewidencyjnej;
- warunki przechowywania odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego i wymogi, jakim muszą odpowiadać obiekty, pomieszczenia i opakowania przeznaczone do przechowywania poszczególnych kategorii odpadów promieniotwórczych, oraz wymogi, jakim muszą odpowiadać przechowalniki wypalonego paliwa jądrowego;
- kategorie i podkategorie odpadów promieniotwórczych, które mogą być składowane w poszczególnych rodzajach składowisk;
- szczegółowe wymagania, jakim powinny odpowiadać poszczególne rodzaje składowisk, dotyczące lokalizacji, eksploatacji, budowy i zamknięcia;
- warunki, jakie powinno spełniać składowisko, aby mogło być uznane za Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych;
- szczegółowe wymagania w zakresie przygotowania odpadów promieniotwórczych do składowania.

Tematyka poruszana w rozporządzeniu została przedstawiona przy dokładnym omawianiu Prawa Atomowego. Dodatkowo będzie jeszcze dokładnie przedstawiona w rozdziale niniejszego podręcznika zatytułowanym „Odpady promieniotwórcze” (Rozdział 11).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych (Dz. U. nr 239/2002, poz. 2030)

Rozporządzenie określa:

- wykaz stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych;
- wykaz placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych;



- szczegółowe zadania stacji i placówek;
- sposoby wykonywania zadań przez stacje i placówki.

Przedstawiona obok mapka pokazuje sieć stacji wczesnego wykrywania skażeń w Polsce.

Sieć wczesnego wykrywania skażeń w Polsce składa się z:

1. Podstawowych stacji wczesnego wykrywania skażeń:
 - o Stacje ASS-500 (CLOR – 12 stacji) oraz PMS (PAA – 13 stacji)
 - o Stacje IMGW (9 stacji)
2. Stacje wspomagające wczesnego wykrywania skażeń:
 - o Stacje nadzorowane przez MON (13 stacji)

Zadaniami stacji podstawowych są:

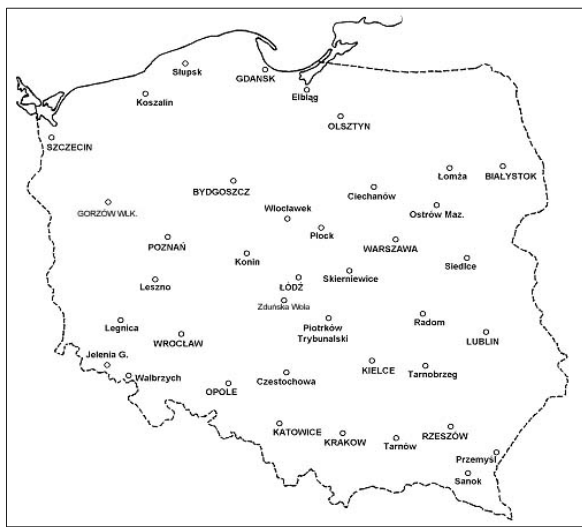
1. prowadzenie pomiarów, z wykorzystaniem spektrometrii promieniowania gamma, mocy dawki tego promieniowania, w celu wykrycia jej wzrostu o wartość 25 nanosiwertów na godzinę (nSv/h) powyżej wartości średniej za okres 24 godzin poprzedzających pomiar, spowodowanego obecnością sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych w otoczeniu;
2. prowadzenie pomiarów, z wykorzystaniem spektrometrii promieniowania gamma - przez stacje wyposażone w urządzenia służące do zbierania aerozoli atmosferycznych - zawartości sztucznych izotopów w próbkach tych aerozoli, w celu wykrycia:
 - a) po 1 godzinie zbierania aerozoli atmosferycznych - izotopu cezu Cs-137 o stężeniu powyżej 2 bekereli na metr sześcienny (Bq/m^3) i izotopu jodu I-131 o stężeniu powyżej 1 Bq/m^3 ,
 - b) po 1 tygodniu zbierania aerozoli atmosferycznych - izotopów gamma promieniotwórczych, w szczególności izotopów cezu Cs-137 i jodu I-131, o stężeniu powyżej 5 mikrobekereli na metr sześcienny (mBq/m^3);
3. prowadzenie pomiarów - przez stacje wyposażone w urządzenia służące do zbierania aerozoli atmosferycznych z izotopami alfa i beta promieniotwórczymi - po 1 godzinie

zbierania aerozoli całkowitej zawartości sztucznych izotopów alfa i beta promieniotwórczych o stężeniu powyżej 1 Bq/m³;

4. systematyczne sprawdzanie prawidłowości działania aparatury pomiarowej służącej do wykonywania pomiarów, o których mowa w pkt 1-3;
5. prowadzenie rejestru wyników pomiarów, o których mowa w pkt 1-3;
6. przekazywanie do Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki wyników pomiarów, o których mowa w pkt 1-3, z częstotliwością określoną:
 - a) **dla warunków normalnych** - w programach pomiarowych przygotowanych przez jednostki, w których działają te stacje, i zatwierdzonych przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki, zwanego dalej "Prezesem Agencji",
 - b) **dla sytuacji zdarzenia radiacyjnego** - przez Prezesa Agencji stosownie do przebiegu tego zdarzenia.

Zadaniami stacji wspomagających są:

1. prowadzenie pomiarów mocy dawki promieniowania gamma co 1 godzinę oraz określanie średniej wartości mocy dawki promieniowania gamma za okres 24 godzin;
2. systematyczne sprawdzanie prawidłowości działania aparatury pomiarowej służącej do wykonywania pomiarów, o których mowa w pkt 1;
3. prowadzenie rejestru wyników pomiarów, o których mowa w pkt 1;
4. przekazywanie do Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki wyników pomiarów, o których mowa w pkt 1, z częstotliwością określoną:
 - a) **dla warunków normalnych** - w programach pomiarowych przygotowanych przez jednostki, w których działają te stacje, i zatwierdzonych przez Prezesa Agencji,



- b) **dla sytuacji zdarzenia radiacyjnego** - przez Prezesa Agencji stosownie do przebiegu tego zdarzenia.

Przedstawiona obok mapka obrazuje sieć placówek podstawowych prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych w Polsce.

Są to Oddziały Higieny Radiacyjnej w Stacjach Sanitarно-Epidemiologicznych.

Zadaniami placówek podstawowych są:

1. prowadzenie pomiarów zawartości izotopów promieniotwórczych w próbkach:
 - a) **wody powierzchniowej**, w szczególności wody z rzek: Wisły, Odry, Bugu, Narwi i Warty, w pobliżu głównych ujść wody - cezu Cs-137 powyżej 1 bekerela na litr (Bq/l) oraz strontu Sr-90 powyżej 0,6 Bq/l,
 - b) **wody do picia** z sieci wodociągowej miast polskich stanowiących stolicy województw oraz miast o liczbie mieszkańców powyżej 200.000 - cezu Cs-137 powyżej 0,1 Bq/l oraz strontu Sr-90 powyżej 0,06 Bq/l,
 - c) **mleka oraz innych produktów żywnościowych**, stanowiących podstawowe składniki przeciętnej racji pokarmowej - cezu Cs-137 powyżej 0,5 Bq/l oraz strontu Sr-90 powyżej 0,2 Bq/l,
 - d) **pasz surowych** - cezu Cs-134 i Cs-137, powyżej 250 Bq/kg;
2. prowadzenie rejestru pobieranych próbek;
3. prowadzenie rejestru wyników pomiarów;
4. uczestniczenie w pomiarach porównawczych, organizowanych przez Prezesa Agencji nie rzadziej niż raz w roku.

Próbki, o których mowa powyżej, pobiera się:

1. **w warunkach normalnych** - w miejscach wskazanych przez Głównego Inspektora Sanitarnego, w uzgodnieniu z Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska i Prezesem Agencji, nie rzadziej niż:
 - a) dla mleka, produktów żywnościowych i wody do picia - 1 raz na kwartał,
 - b) dla wody rzecznej - 2 razy w roku, w okresie wiosennym i jesiennym;
2. **w sytuacji zdarzenia radiacyjnego** - w miejscach i z częstotliwością określoną przez Prezesa Agencji stosownie do przebiegu tego zdarzenia.

Wykaz placówek specjalistycznych :

- o Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie,

- o Państwowy Zakład Higieny (PZH) w Warszawie, Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii
- o Instytut Energii Atomowej (IEA) im. A. Sołtana w Otwocku-Świerku, Służba Ochrony Radiologicznej
- o Instytut Fizyki Jądrowej (IFJ) im. H. Niewodniczańskiego w Krakowie, Laboratorium Badań Skażeń Radioaktywnych
- o Główny Instytut Górnictwa (GIG) w Katowicach, Laboratorium Radiometrii
- o Akademia Górniczo-Hutniczej (AGH) w Krakowie, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej
- o Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Warszawie,
- o Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii (WIHE) w Warszawie, Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiologii
- o Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii (WICHiR) w Warszawie, Zakład Pomiarów Dozymetrycznych i Sprzętu Radiometrycznego

Zadaniami placówek specjalistycznych są:

1. prowadzenie pomiarów zawartości izotopów promieniotwórczych w próbkach:
 - a) **mleka, wody do picia oraz produktów żywnościowych** - sztucznych izotopów alfa promieniotwórczych, w szczególności plutonu Pu-239 i ameryku Am-241, powyżej 1 Bq/l lub
 - b) **wody powierzchniowej** - cezu Cs-137 powyżej 0,1 Bq/l i strontu Sr-90 powyżej 0,06 Bq/l, lub
 - c) **wody do picia:**
 - cezu Cs-137 powyżej 0,02 Bq/l i strontu Sr-90 powyżej 0,01 Bq/l lub
 - wodoru H-3 powyżej 10 Bq/l, lub
 - naturalnych izotopów alfa promieniotwórczych w przypadku przekroczenia 0,1 Bq/l całkowitej aktywności izotopów alfa promieniotwórczych oraz naturalnych izotopów beta promieniotwórczych w przypadku przekroczenia 1 Bq/l całkowitej aktywności izotopów beta promieniotwórczych, lub
 - d) **mleka i produktów żywnościowych** - sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych, w szczególności cezu Cs-137 powyżej 0,1 Bq/kg oraz sztucznych izotopów beta promieniotwórczych, w szczególności strontu Sr-90 powyżej 0,06 Bq/kg, lub

e) **materiałów środowiskowych**, w tym:

- gleby - cezu Cs-137 powyżej 1 kilobekerela na metr kwadratowy (kBq/m²) lub
 - osadów dennych - cezu Cs-137 powyżej 1 Bq/kg oraz izotopów plutonu Pu-238, Pu-239, Pu-240, powyżej 0,1 Bq/kg, lub
 - opadu całkowitego - cezu Cs-137 powyżej 0,05 bekerela na metr kwadratowy razy miesiąc (Bq/m² x miesiąc) oraz strontu Sr-90 powyżej 0,05 bekerela na metr kwadratowy razy trzy miesiące (Bq/m² x 3 miesiące);
2. prowadzenie rejestru pobieranych próbek;
 3. prowadzenie rejestru wyników pomiarów;
 4. uczestniczenie w pomiarach porównawczych, organizowanych przez Prezesa Agencji nie rzadziej niż raz na 2 lata;
 5. opracowywanie projektów technik pomiarowych do oznaczania jakościowego i ilościowego izotopów promieniotwórczych w materiałach środowiskowych i w żywności oraz przedstawianie ich do zatwierdzenia Prezesowi Agencji.

Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 23 kwietnia 2004 r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej osoby eksploatującej urządzenie jądrowe (Dz. U. nr 94/2004, poz. 909)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych (Dz. U. nr 20/2005, poz. 169 oraz Dz. U. nr 131/2007, poz. 912)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie wartości poziomów interwencyjnych dla poszczególnych rodzajów działań interwencyjnych oraz kryteriów odwołania tych działań (Dz. U. nr 98/2004, poz. 987)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie informacji wyprzedzającej dla ludności na wypadek zdarzeń radiacyjnych (Dz. U. nr 102/2004, poz. 1065)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie ochrony przed promieniowaniem jonizującym pracowników zewnętrznych narażonych podczas pracy na terenie kontrolowanym (Dz. U. nr 102/2004, poz. 1064)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 4 listopada 2008 r. w sprawie ochrony fizycznej materiałów jądrowych (Dz. U. nr 207/2008, poz. 1295)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007 r. w sprawie warunków przywozu na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, wywozu z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej oraz tranzytu przez to terytorium materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych i urządzeń zawierających takie źródła (Dz. U. nr 131/2007, poz. 911)

Ten temat zostanie dokładnie przedstawiony w rozdziale niniejszego podręcznika zatytułowanym „Przepisy transportowe” (Rozdział 11).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących sprzętu dozymetrycznego (Dz. U. nr 239/2002, poz. 2032)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie określenia podmiotów właściwych w sprawach kontroli po zdarzeniu radiacyjnym żywności i środków żywienia zwierząt na zgodność z maksymalnymi dopuszczalnymi poziomami skażeń promieniotwórczych (Dz. U. nr 98/2004, poz. 988)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i Toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. nr 4/2007, poz. 29)

Rozporządzenie określa wymagania dotyczące:

1. zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie;
2. kontroli zawartości tych izotopów, w tym w szczególności:

- a) warunki, jakie muszą spełniać laboratoria prowadzące kontrolę odnośnie do systemu zapewnienia jakości wykonywanych badań, wyposażenia, warunków lokalowych i środowiskowych oraz częstotliwości uczestniczenia w międzylaboratoryjnych pomiarach porównawczych,
- b) sposób pobierania próbek i ich pomiaru oraz czynniki uwzględniane przy interpretacji wyników pomiaru.

Zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie ustala się za pomocą:

1. **wskaźnika aktywności f_1** , który określa zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych (jest to wskaźnik narażenia całego ciała na promieniowanie gamma), zdefiniowany za pomocą wzoru:

$$f_1 = \frac{S_K}{3000} + \frac{S_{Ra}}{300} + \frac{S_{Th}}{200}$$

gdzie: S_K , S_{Ra} , S_{Th} - oznaczają odpowiednio stężenie promieniotwórcze izotopów potasu K-40, radu Ra-226 oraz toru Th-228 wyrażone w [Bq/kg].

2. **wskaźnika aktywności f_2** , który określa zawartość radu Ra-226 (jest to wskaźnik narażenia nabłonka płuc na promieniowanie alfa emitowane przez produkty rozpadu radonu pobrane wraz z powietrzem przez układ oddechowy człowieka):

$$f_2 = S_{Ra}$$

gdzie: S_{Ra} - oznacza stężenie promieniotwórcze radu Ra-226 wyrażone w [Bq/kg].

W zależności od wartości tych dwóch wskaźników, badany materiał może być stosowany w różnych typach budownictwa. I tak, wartości wskaźników f_1 oraz f_2 nie mogą przekraczać **o więcej niż 20%** wartości:

- 1) **$f_1=1$ i $f_2=200$ [Bq/kg]** w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego;
- 2) **$f_1=2$ i $f_2=400$ [Bq/kg]** w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w obiektach budowlanych naziemnych wznoszonych na terenach zabudowanych lub przeznaczonych do zabudowy w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego oraz do niwelacji takich terenów;

- 3) $f_1=3,5$ i $f_2=1000$ [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach naziemnych obiektów budowlanych niewymienionych w punkcie 2 oraz do niwelacji terenów niewymienionych w punkcie 2;
- 4) $f_1=7$ i $f_2=2000$ [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach podziemnych obiektów budowlanych, o których mowa w punkcie 3, oraz w budowlach podziemnych, w tym w tunelach kolejowych i drogowych, z wyłączeniem odpadów przemysłowych wykorzystywanych w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Dodatkowo przy stosowaniu odpadów przemysłowych do niwelacji terenów, o których mowa w punktach 2 i 3, oraz do budowy dróg, obiektów sportowych i rekreacyjnych zapewnia się, przy zachowaniu wymaganych wartości wskaźników f_1 i f_2 , **obniżenie mocy dawki pochłoniętej** na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu, drogi lub obiektu **do wartości nieprzekraczającej 0,3 mGy/h**, w szczególności przez położenie dodatkowej warstwy innego materiału.

Kontrolę zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, prowadzą laboratoria posiadające akredytację w zakresie prowadzenia takiej kontroli, a także laboratoria, które:

1. posiadają **system zapewnienia jakości** wykonywanych badań, obejmujący:
 - a) ogólny opis stosowanej metodyki badań,
 - b) dokumentację aparatury pomiarowej i wyposażenia technicznego,
 - c) instrukcję pobierania i przygotowywania próbek,
 - d) instrukcję obsługi spektrometru,
 - e) instrukcję wykonywania pomiarów, w tym pomiarów weryfikujących prawidłowość działania aparatury pomiarowej,
 - f) sposób ewidencji wyników pomiarów,
 - g) wzory raportów (sprawozdań) z badań kontrolnych oraz ewidencję wyników tych badań,
 - h) wymagania dotyczące kwalifikacji pracowników;
2. są wyposażone:
 - a) w urządzenia do przygotowania (rozdrabniania, suszenia, przesiewania i ważenia) próbek,

- b) w spektrometr promieniowania gamma z detektorem scyntylacyjnym lub półprzewodnikowym, umożliwiający pomiar zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w próbkach,
 - c) w domek osłonny umożliwiający umieszczenie w nim detektora i naczynia pomiarowego z mierzoną próbką,
 - d) we wzorcowe źródła do kalibracji energetycznej i kontroli stabilności pracy spektrometru,
 - e) we wzorce odniesienia zawierające naturalne izotopy promieniotwórcze, służące do kalibracji spektrometru;
3. posiadają warunki lokalowe i środowiskowe niezbędne do stosowania, zgodnie z instrukcjami obsługi, aparatury pomiarowej i urządzeń technicznych służących do prowadzenia badań;
4. uczestniczą, na koszt własny, nie rzadziej niż raz na trzy lata, w międzylaboratoryjnych pomiarach porównawczych, organizowanych przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

Kontrolowany surowiec, materiał lub odpad, przed umieszczeniem w naczyniu pomiarowym, wysusza się do suchej masy i rozdrabnia do wymiaru ziaren poniżej 2 mm.

Jeżeli oznaczanie zawartości radu Ra-226 w próbce odbywa się przez pomiar promieniowania produktów jego rozpadu, przed rozpoczęciem pomiaru naczynie pomiarowe z próbką utrzymuje się szczelnie zamknięte przez okres nie krótszy niż:

- 1) **5 dni**, jeżeli kontrolowany surowiec, materiał lub odpad jest pochodzenia naturalnego i nie był poddawany procesowi przeróbki lub podlegał składowaniu przez okres co najmniej 30 dni, albo
- 2) **14 dni**, jeżeli kontrolowany surowiec, materiał lub odpad był poddany procesowi przeróbki.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań dla zakładów opieki zdrowotnej ubiegających się o wydanie zgody na prowadzenie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące w celach medycznych, polegającej na udzielaniu świadczeń zdrowotnych z zakresu radioterapii onkologicznej (Dz. U. nr 75/2006, poz. 528)

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2007 r. w sprawie szczególnych wymagań dotyczących formy i treści wzorcowych i roboczych medycznych procedur radiologicznych (Dz. U. nr 24/2007, poz. 161)

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 grudnia 2006 r. w sprawie nadzoru i kontroli w zakresie przestrzegania warunków ochrony radiologicznej w jednostkach organizacyjnych stosujących aparaty rentgenowskie do celów diagnostyki medycznej, radiologii zabiegowej, radioterapii powierzchniowej i radioterapii schorzeń nienowotworowych (Dz. U. nr 1/2007, poz. 11)

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 marca 2008 r. w sprawie minimalnych wymagań dla jednostek ochrony zdrowia udzielających świadczeń zdrowotnych z zakresu rentgenodiagnostyki, radiologii zabiegowej oraz diagnostyki i terapii radioizotopowej chorób nienowotworowych (Dz. U. nr 59/2008, poz. 365)

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczególnych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi (Dz. U. nr 180/2006, poz. 1325)

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 marca 2008 r. w sprawie bazy danych urządzeń radiologicznych (Dz. U. nr 59/2008, poz. 366)

2.2.3. KODEKS PRACY

Oczywiście także podstawowy nasz akt prawny dotyczy stosunków pracy, a mianowicie Kodeks Pracy także zwraca uwagę na sprawy promieniowania i związanych z tym zagrożeń. Niestety problemy te SA poruszane tylko w dwóch artykułach, a mianowicie:

Art. 215.

Pracodawca jest obowiązany zapewnić, aby stosowane maszyny i inne urządzenia techniczne:

1. zapewniały bezpieczne i higieniczne warunki pracy, w szczególności zabezpieczały pracownika przed urazami, działaniem niebezpiecznych substancji chemicznych, porażeniem prądem elektrycznym, nadmiernym hałasem, działaniem drgań mechanicznych i **promieniowania** oraz szkodliwym i niebezpiecznym działaniem innych czynników środowiska pracy,

2. uwzględniały zasady ergonomii.

Art. 223.

§ 1. Pracodawca jest obowiązany chronić pracowników przed **promieniowaniem jonizującym**, pochodzącym ze źródeł sztucznych i naturalnych, występujących w środowisku pracy.

§ 2. **Dawka promieniowania jonizującego** pochodzącego ze źródeł naturalnych, otrzymywana przez pracownika przy pracy w warunkach narażenia na to promieniowanie, nie może przekraczać dawek granicznych, określonych w odrębnych przepisach dla sztucznych źródeł promieniowania jonizującego.

ROZDZIAŁ 3

SZKOLENIE I NADAWANIE UPRAWNIEN

Problemy szkolenia i nadawania uprawnień regulują w kraju: ustawa Prawo atomowe (Dz. U. z 2007 r., Nr 42, poz. 276 z późn. zm.), Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie stanowisk mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz inspektorów ochrony radiologicznej (Dz. U. z 2005 r., Nr 173, poz. 173) oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie nadawania inspektora ochrony radiologicznej w pracowniach stosujących aparaty rentgenowskie w celach medycznych (Dz. U. z 2006 r., Nr 239, poz. 1737).

Jednym z podstawowych warunków bezpiecznej pracy pracowników w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące jest przestrzeganie wymagań ustalonych w zezwoleniu w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Wprowadzie za przestrzeganie tych wymagań odpowiedzialny jest **kierownik jednostki organizacyjnej** to jednak **wewnętrzny nadzór nad przestrzeganiem wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej** sprawuje osoba, która posiada **uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej**.

Wymaganie posiadania inspektora ochrony radiologicznej nie dotyczy jednostki organizacyjnej wykonującej działalność z aparatami rentgenowskimi do celów weterynaryjnych pracującymi w systemie zdjęciowym oraz jednostki organizacyjnej wykonującej działalność z urządzeniami rentgenowskimi przeznaczonymi do kontroli osób, przesyłek i bagażu.

Z wnioskiem o nadanie uprawnień inspektora ochrony radiologicznej może wystąpić zainteresowana osoba lub kierownik jednostki organizacyjnej.

Uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej nadaje się osobie, która:

- 1) posiada pełną zdolność do czynności prawnych;
- 2) posiada co najmniej średnie wykształcenie;
- 3) zdała egzamin z zakresu szkolenia określonego w ww. Rozporządzeniach
- 4) posiada orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do pracy w warunkach narażenia;
- 5) posiada staż pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące, określony w ww. Rozporządzeniach.

Uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej nadaje się **na okres 5 lat**.

Uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej nadaje **Prezes Państwowej Agencji Atomistyki** za wyjątkiem pracowni stosujących aparaty rentgenowskie w celach medycznych, w których uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej nadaje **Główny Inspektor Sanitarny**.

Szkolenie osób ubiegających się o uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej, z wyjątkiem uprawnień inspektora ochrony radiologicznej w pracowniach rentgenowskich stosujących aparaty rentgenowskie do celów diagnostyki medycznej, radiologii zabiegowej, radioterapii powierzchniowej i radioterapii schorzeń nienowotworowych prowadzą jednostki, które zostały wpisane do **rejestru Prezesa Agencji**.

Szkolenie osób ubiegających się o uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej w pracowniach rentgenowskich stosujących aparaty rentgenowskie do celów diagnostyki medycznej, radiologii zabiegowej, radioterapii powierzchniowej i radioterapii schorzeń nienowotworowych prowadzą jednostki, które zostały wpisane do **rejestru Głównego Inspektora Sanitarnego**.

Koszty uzyskania uprawnień ponosi występujący z wnioskiem o nadanie uprawnień.

Organ właściwy do nadawania uprawnień inspektora ochrony radiologicznej **cofa te uprawnienia** w drodze decyzji administracyjnej, jeżeli

- 1) inspektor ochrony radiologicznej utracił pełną zdolność do czynności prawnych lub
- 2) w wyniku kontroli przeprowadzonej przez organy dozoru jądowego bądź państwowego wojewódzkiego inspektora sanitarnego stwierdzono, że inspektor ochrony radiologicznej nie wykonuje albo nie wykonuje należycie obowiązków inspektora ochrony radiologicznej określonych w ustawie i w przepisach wydanych na jej podstawie.

Kierownik jednostki organizacyjnej zasięga **opinii inspektora ochrony radiologicznej** na temat badania i sprawdzania urządzeń ochronnych i przyrządów pomiarowych, obejmującej w szczególności:

- 1) ocenę urządzeń mających wpływ na ochronę radiologiczną - przed dopuszczeniem do ich stosowania;
- 2) dopuszczenie do stosowania nowych lub zmodyfikowanych źródeł promieniowania jonizującego, z punktu widzenia ochrony radiologicznej;
- 3) częstotliwość sprawdzania skuteczności stosowanych środków i technik ochrony przed promieniowaniem;
- 4) częstotliwość wzorcowania przyrządów pomiarowych, sprawdzanie ich sprawności i właściwego użytkowania.

Prezes Agencji może w zezwoleniu nałożyć na jednostkę organizacyjną obowiązek utworzenia wyspecjalizowanej, wyodrębnionej organizacyjnie służby ochrony radiologicznej, wspomagającej inspektora ochrony radiologicznej w wykonywaniu zadań z zakresu ochrony radiologicznej. Może być ona wspólna dla kilku jednostek organizacyjnych, jeżeli kierownicy tych jednostek tak postanowią w zawartej umowie.

Do pracy przy materiale jądrowym, źródle promieniowania jonizującego, odpadach promieniotwórczych lub wypalonym paliwie jądrowym można dopuścić pracownika, który posiada odpowiednią do stanowiska pracy znajomość przepisów z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz niezbędne umiejętności.

Kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany zapewnić prowadzenie wstępnych i okresowych - **nie rzadziej niż co 5 lat, szkoleń pracowników w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej**, zgodnie z opracowanym przez siebie programem. Szkoleniem objęci są również pracownicy uczestniczący w transporcie materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych, odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego.

Szkolenia obejmują w szczególności:

- 1) ogólne procedury ochrony radiologicznej i podejmowane środki ostrożności związane z działalnością wykonywaną przez jednostkę organizacyjną;
- 2) procedury ochrony radiologicznej i podejmowane środki ostrożności związane z konkretnym stanowiskiem pracy;

- 3) informację o możliwych skutkach utraty kontroli nad materiałem jądrowym, źródłem promieniowania jonizującego lub odpadem promieniotwórczym, z którym jest wykonywana działalność;
- 4) w przypadku kobiet - także informację o konieczności niezwłocznego powiadomienia kierownika jednostki organizacyjnej o ciąży oraz informację o ryzyku skażenia promieniotwórczego dziecka karmionego piersią przez matkę, w przypadku gdy istnieje możliwość skażenia promieniotwórczego ciała matki.

Programy szkoleń, opracowane przez kierownika jednostki organizacyjnej działającej na podstawie zezwolenia, podlegają zatwierdzeniu przez organ, który wydał zezwolenie.

W jednostce organizacyjnej na **stanowisku mającym istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej** może być zatrudniona wyłącznie osoba posiadająca uprawnienia nadane przez Prezesa Agencji. Z wnioskiem o nadanie takich uprawnień może wystąpić kierownik jednostki organizacyjnej, w której ma być zatrudniona osoba na stanowisku wymagającym uprawnień, lub kierownik jednostki nadrzędnej. Koszty uzyskania uprawnień ponosi występujący z wnioskiem o nadanie uprawnień.

Szkolenie osób ubiegających się o uprawnienia prowadzą jednostki, które zostały **wpisane do rejestru Prezesa Agencji**.

Uprawnienia nadaje się na **okres 5 lat**, z tym, że uprawnienia dla osób, które mogą być zatrudnione na stanowiskach mających istotne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w **obiektach jądrowych**, nadaje się na **okres 3 lat**.

Warunkiem nadawania uprawnień dla osób, które mogą być zatrudnione na **stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej**, jest:

- 1) **brak przeciwwskazań zdrowotnych** do pracy na danym stanowisku, w tym brak przeciwwskazań do pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące, stwierdzone orzeczeniem uprawnionego lekarza
- 2) **posiadanie wykształcenia i stażu pracy** odpowiedniego dla danego stanowiska;
- 3) **zdanie egzaminu, poprzedzonego szkoleniem**, odpowiedniego dla danego stanowiska.

Wykaz stanowisk mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, wymaganych kwalifikacji zawodowych oraz **zakresu szkolenia i egzaminu**, dla osób, które ubiegają się o uprawnienia umożliwiające zatrudnienie na tych stanowiskach, został przedstawiony w **Tabeli 1**.

Warunkiem **nadawania uprawnień inspektora ochrony radiologicznej** określonego typu, ze względu na rodzaj działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące, do której nadzorowania inspektor uzyskuje uprawnienia, jest:

- 1) **posiadanie wykształcenia i stażu pracy** odpowiedniego dla danego typu uprawnień;
- 2) **zdanie egzaminu, poprzedzonego szkoleniem**, odpowiedniego dla danego typu uprawnień.

Wykaz typów uprawnień inspektora ochrony radiologicznej, wymaganych **kwalifikacji** zawodowych oraz **zakresu szkolenia i egzaminu**, dla osób, które ubiegają się o uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej przedstawia **Tabela 2**.

Zakresy szkoleń dla osób, które ubiegają się o uprawnienia umożliwiające zatrudnienie na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz o uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej, określają odpowiednio załączniki nr 3 i 4 do Rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie stanowisk mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz inspektorów ochrony radiologicznej (Dz. U. z 2005 r., Nr 173, poz. 173).

Szkolenia dla osób, które ubiegają się o uprawnienia umożliwiające zatrudnienie na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, oraz dla osób, które ubiegają się o uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej, **mogą przeprowadzać jednostki, które:**

- 1) dysponują **kadrą wykładowców**, którzy posiadają **wyższe wykształcenie**, odznaczają się **wiedzą i doświadczeniem zawodowym** w dziedzinie podstaw technologii jądrowych oraz bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, zgodnie z zakresem prowadzonych szkoleń;
- 2) **posiadają obiekty, urządzenia i wyposażenie** umożliwiające prowadzenie ćwiczeń praktycznych objętych tematyką szkolenia lub zapewniają do nich dostęp;
- 3) opracują szczegółowe **programy szkoleń** odpowiadające zakresom szkoleń podanym w załącznikach 3 i 4 do ww. rozporządzenia;
- 4) prowadzą dzienniki zajęć zawierające tematykę i czas trwania poszczególnych zajęć oraz spis osób biorących udział w szkoleniach i przechowują je co najmniej przez 5 lat od dnia zakończenia szkolenia.

Wpis jednostki przeprowadzającej szkolenie do rejestru prowadzonego przez Prezesa Agencji następuje na wniosek kierownika jednostki przeprowadzającej szkolenie, po stwierdzeniu przez Prezesa Agencji spełnienia ww. warunków.

Przed rozpoczęciem szkolenia:

osoby, które ubiegają się o uprawnienia umożliwiające zatrudnienie na **stanowisku** mającym istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz osoby ubiegające się o uprawnienia **inspektora ochrony radiologicznej** przedstawiają kierownikowi jednostki przeprowadzającej szkolenie **orzeczenie lekarskie** o braku przeciwwskazań do pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące.

Szkolenie przeprowadza się w formie wykładów, ćwiczeń obliczeniowych, ćwiczeń laboratoryjnych lub szkolenia na stanowisku pracy, w zależności od zakresu szkolenia.

Kierownik jednostki przeprowadzającej szkolenie wydaje osobie, która odbyła szkolenie, **dokument potwierdzający jego odbycie.**

Szkolenie kończy się egzaminem przed właściwą komisją egzaminacyjną.

Do egzaminu niezbędnego do uzyskania uprawnień umożliwiających zatrudnienie na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej mogą przystąpić osoby, **które nie odbyły szkolenia**, jeżeli przez ostatnie 12 miesięcy przed terminem złożenia wniosku o dopuszczenie do egzaminu były zatrudnione na stanowisku mającym istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej i ubiegają się ponownie o uprawnienia do zatrudnienia na tym samym stanowisku lub stanowisku, dla którego wymagany jest ten sam zakres szkolenia.

Do egzaminu niezbędnego do uzyskania uprawnień inspektora ochrony radiologicznej mogą przystąpić osoby, które **nie odbyły wymaganego szkolenia**, jeżeli:

- 1) w dniu złożenia wniosku o dopuszczenie do egzaminu posiadały uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej nadane przez Prezesa Agencji i ubiegają się o uprawnienia tego samego typu lub
- 2) ukończyły w okresie ostatnich 5 lat studia wyższe na kierunkach zawierających w programach studiów zagadnienia z zakresu dozymetrii i ochrony radiologicznej, wraz z zajęciami praktycznymi w warunkach narażenia, w minimalnym wymiarze 30 godzin wykładów i 30 godzin ćwiczeń, poprzedzonych wykładem i ćwiczeniami z fizyki, łącznie z fizyką współczesną, lub

- 3) posiadają wykształcenie wyższe i co najmniej 3-letni staż pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące nabyty w jednostce organizacyjnej wykonującej działalność na podstawie zezwolenia w okresie ostatnich 5 lat przed dniem złożenia wniosku o dopuszczenie do egzaminu.

W przypadkach, o których mowa wyżej, wniosek o dopuszczenie do egzaminu wraz z dokumentami potwierdzającymi spełnienie warunków dopuszczenia do egzaminu bez szkolenia jest składany do Prezesa Agencji, który sprawdza, czy składający wniosek spełnia te warunki, i dopuszcza albo nie dopuszcza go do egzaminu. O dopuszczeniu albo o niedopuszczeniu do egzaminu bez szkolenia Prezes Agencji zawiadamia składającego wniosek w terminie 30 dni od dnia złożenia wniosku, podając, w przypadku dopuszczenia do egzaminu, termin i miejsce egzaminu.

Osoba, która nie przystąpiła do egzaminu w wyznaczonym przez Prezesa Agencji terminie albo nie przystąpiła do egzaminu bezpośrednio po szkoleniu może w terminie 1 miesiąca od dnia tego egzaminu wystąpić do Prezesa Agencji o wyznaczenie nowego terminu egzaminu, a jeżeli osoba ta uiściła opłatę za egzamin, to opłata podlega zaliczeniu na poczet egzaminu wyznaczonego w innym terminie.

Wystąpienie z wnioskiem o wyznaczenie nowego terminu egzaminu może być dokonane nie więcej niż dwa razy.

Członków komisji egzaminacyjnych powołuje i odwołuje Prezes Agencji spośród specjalistów z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

Egzaminy przeprowadzają:

- 1) komisja egzaminacyjna właściwa dla uprawnień umożliwiających zatrudnienie na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej;
- 2) komisja egzaminacyjna właściwa dla uprawnień inspektora ochrony radiologicznej.

Egzamin obejmuje zagadnienia z zakresu określonego dla danego rodzaju szkolenia. Egzamin składa się z części pisemnej, obejmującej test złożony z 30 pytań i 3 zadania obliczeniowe lub pytania problemowe, oraz z części ustnej obejmującej 5 pytań.

Pisemna część egzaminu trwa 120 minut, w tym:

- 1) test - 60 minut;
- 2) zadania obliczeniowe lub pytania problemowe - 60 minut.

Za pisemną część egzaminu komisja egzaminacyjna przyznaje:

- 1) 1 pkt za każdą poprawną odpowiedź na pytanie z testu;

2) od 0 do 10 pkt za każde zadanie obliczeniowe lub pytanie problemowe.

Warunkiem dopuszczenia do części ustnej egzaminu jest uzyskanie co najmniej 40 pkt z pisemnej części egzaminu, w tym co najmniej 20 pkt z testu i co najmniej 20 pkt z zadań obliczeniowych lub pytań problemowych.

Za ustną część egzaminu komisja egzaminacyjna przyznaje od 0 do 5 pkt za każde pytanie.

Egzamin uważa się za zdany, jeżeli osoba zdająca uzyska co najmniej 15 pkt z egzaminu ustnego.

Osoba, która nie zdała egzaminu, może w terminie do 6 miesięcy od dnia egzaminu wystąpić z wnioskiem do Prezesa Agencji o wyznaczenie terminu ponownego egzaminu.

Osobie, która zdała egzamin, komisja egzaminacyjna wydaje dokument potwierdzający zdanie egzaminu.

Opłatę za egzamin wnosi się na konto dochodów Państwowej Agencji Atomistyki, a **dowód wniesienia opłaty** osoba zdająca egzamin przedstawia komisji egzaminacyjnej **przed rozpoczęciem egzaminu**. Kwota opłaty za egzamin oraz numer konta są dostępne w Biuletynie Informacji Publicznej na stronach podmiotowych Prezesa Agencji.

Po zdanym egzaminie osoba zainteresowana składa do Prezesa Agencji wniosek o nadanie uprawnień. Wniosek zawiera:

- 1) imię, nazwisko, datę i miejsce urodzenia oraz numer PESEL osoby ubiegającej się o nadanie uprawnień;
- 2) informację o rodzaju i typie uprawnień, o które ubiega się ta osoba;
- 3) adres do korespondencji;
- 4) informacje o przebiegu pracy zawodowej tej osoby.

Występujący z wnioskiem dołącza do niego następujące dokumenty dotyczące osoby, która ubiega się o nadanie uprawnień:

- 1) dokument stwierdzający zdanie egzaminu;
- 2) orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące, a w przypadku uprawnień umożliwiających zatrudnienie na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, także o braku przeciwwskazań zdrowotnych do pracy na stanowisku objętym uprawnieniem, o które ubiega się ta osoba;
- 3) odpisy dyplomów lub świadectw potwierdzających posiadane wykształcenie;

- 4) dokumenty potwierdzające posiadanie wymaganego stażu pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące;
- 5) w przypadku ubiegania się o uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej - oświadczenie o posiadaniu pełnej zdolności do czynności prawnych.

Wniosek o nadanie uprawnień składa się w terminie **6 miesięcy** od dnia przeprowadzenia egzaminu.

Uprawnienia dla osób, które mogą być zatrudnione na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, oraz uprawnienia inspektora ochrony radiologicznej nadaje się na **okres 5 lat**.

Uprawnienia dla osób, które mogą być zatrudnione na stanowiskach mających istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w obiektach jądrowych, nadaje się na **okres 3 lat**.

Inspektor ochrony radiologicznej, posiadający uprawnienia typu odpowiadającego działalności prowadzonej przez jednostkę organizacyjną, sprawuje **wewnętrzny nadzór** nad przestrzeganiem wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w tej jednostce.

Do **zakresu obowiązków inspektora ochrony radiologicznej** należy w szczególności nadzór nad przestrzeganiem przez jednostkę organizacyjną **warunków zezwolenia** na wykonywanie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące, w tym:

- 1) nadzór nad przestrzeganiem prowadzenia działalności **według instrukcji pracy** oraz nad prowadzeniem **dokumentacji** dotyczącej bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, w tym dotyczącej pracowników i innych osób, przebywających w jednostce w warunkach narażenia, z wyjątkiem ochrony radiologicznej pacjentów poddanych terapii i diagnostyce z wykorzystaniem promieniowania jonizującego;
- 2) nadzór nad spełnianiem warunków **dopuszczających pracowników do zatrudnienia na danym stanowisku pracy**, w tym dotyczących **szkolenia pracowników** na stanowisku pracy w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej;
- 3) **opracowanie programu pomiarów dozymetrycznych** w środowisku pracy i pomiarów oraz **ewidencji dawek indywidualnych** i przedstawienie ich do **zatwierdzenia kierownikowi jednostki organizacyjnej**;
- 4) **współpraca z zakładowymi służbami bezpieczeństwa i higieny pracy**, osobami wdrażającymi program bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, służbami

przeciwpożarowymi i ochrony środowiska w zakresie ochrony przed promieniowaniem jonizującym;

- 5) wydawanie kierownikowi jednostki organizacyjnej **opinii w zakresie ochrony przed promieniowaniem**, stosownie do charakteru działalności i typu posiadanych uprawnień;
- 6) występowanie do kierownika jednostki organizacyjnej z **wnioskiem o wstrzymywanie prac** w warunkach narażenia, gdy są naruszone warunki zezwolenia lub inne przepisy z zakresu ochrony przed promieniowaniem jonizującym;
- 7) nadzór nad **postępowaniem wynikającym z zakładowego planu postępowania awaryjnego**, jeżeli na terenie jednostki organizacyjnej zaistnieje zdarzenie radiacyjne.

Do zakresu **uprawnień inspektora ochrony radiologicznej należy w szczególności:**

- 1) występowanie do kierownika jednostki organizacyjnej z wnioskiem o **zmianę warunków pracy pracowników**, w szczególności w sytuacji, gdy wyniki pomiarów dawek indywidualnych uzasadniają taki wniosek;
- 2) wydawanie kierownikowi jednostki organizacyjnej **opinii**, w ramach badania i sprawdzania urządzeń ochronnych i przyrządów pomiarowych, w zakresie **skuteczności** stosowanych środków i technik ochrony przed promieniowaniem jonizującym oraz sprawności i **właściwego użytkowania przyrządów pomiarowych**;
- 3) **sprawdzanie kwalifikacji pracowników** w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej i występowanie z wynikającymi z tego wnioskami do kierownika jednostki organizacyjnej;
- 4) występowanie do kierownika jednostki organizacyjnej z **wnioskiem o wprowadzenie zmian w instrukcjach pracy**, jeżeli wnioskowane zmiany nie zwiększają limitów użytkowych dawki określonych w zezwoleniu;
- 5) w przypadku, kiedy inspektor ochrony radiologicznej wystąpił do kierownika jednostki organizacyjnej z **wnioskiem o wstrzymywanie prac** w warunkach narażenia, gdy były naruszone warunki zezwolenia lub inne przepisy z zakresu ochrony przed promieniowaniem jonizującym, **informowanie organu wydającego zezwolenie o wystąpieniu z takim wnioskiem**.

Tabela 1 Stanowiska mające istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, wymagane kwalifikacje oraz zakres szkolenia i egzaminu

Stanowisko	Zakres szkolenia i egzaminu	Wykształcenie	Staż pracy (w latach) w warunkach narażenia
Operator akceleratora stosowanego do celów innych niż medyczne, z wyłączeniem akceleratorów stosowanych do kontroli pojazdów na przejściach granicznych	A-A	techniczne	z wykształceniem wyższym – 0 średnim – 1 w pracowni akceleratorowej
Operator akceleratora stosowanego do kontroli pojazdów na przejściach granicznych	A-A	dowolne	0
Operator akceleratora stosowanego do celów medycznych oraz urządzeń do teleradioterapii	S-A	techniczne	z wykształceniem wyższym – 0 średnim – 1 w pracowni akceleratorowej
Operator urządzeń do brachyterapii ze źródłami promieniotwórczymi	S-Z	techniczne	z wykształceniem wyższym – 0 średnim – 1 w pracowni radioterapeutycznej ze źródłami promieniotwórczymi

Tabela 2 Typy uprawnień inspektora ochrony radiologicznej, wymagane kwalifikacje oraz zakres szkolenia i egzaminu

Typ	Rodzaj działalności związanej z narażeniem	Staż pracy w warunkach narażenia	
		wykształcenie średnie	wykształcenie wyższe
IOR-0	Praca z zamkniętymi źródłami promieniotwórczymi o aktywności nieprzekraczającej 10-krotnej wartości określonej jako niepodlegająca obowiązkowi uzyskania zezwolenia ani zgłoszenia	1	0
IOR-1	Praca ze źródłami promieniotwórczymi oraz urządzeniami wytwarzającymi promieniowanie jonizujące stosowanymi w celach innych niż medyczne	3	1
IOR-3	Praca ze źródłami promieniotwórczymi oraz urządzeniami wytwarzającymi promieniowanie jonizujące stosowanymi również w celach medycznych (z wyłączeniem aparatów rentgenowskich stosowanych w celach medycznych)	4	2
IOR-2	Praca przy eksploatacji obiektów jądrowych oraz praca związana z transportem, przechowywaniem i składowaniem paliwa jądrowego	4	2

ROZDZIAŁ 4

WIELKOŚCI DOZYMETRII PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Chcąc określić narażenie człowieka na promieniowanie jonizujące posługujemy się pojęciem dawki. Pod tym określeniem kryją się różne wielkości dozymetryczne. W ochronie radiologicznej mamy do czynienia z różnymi rodzajami dawek. Choć różnią się między sobą, wszystkie służą do oceny narażenia na promieniowanie, a jest ich tyle ponieważ nie umiemy precyzyjnie opisać od strony matematycznej wszystkich efektów zachodzących przy napromienieniu tkanek organizmu człowieka.

Do najważniejszych wielkości mierzalnych stosowanych w dozymetrii promieniowania jonizującego, czyli takich, które można określić drogą bezpośredniego pomiaru, można zaliczyć **dawkę ekspozycyjną, dawkę pochłoniętą, kermę oraz aktywność.**

Dawka ekspozycyjna, określająca zdolność promieniowania X i γ jonizacji powietrza, była do niedawna – historycznie rzecz biorąc – najczęściej stosowaną w ochronie przed promieniowaniem. **Dawka ekspozycyjna X** definiowana jest jako iloraz dQ przez dm , gdzie dQ jest wartością bezwzględną sumy ładunków jonów jednego znaku, wytworzonych przez fotony w suchym powietrzu, gdy wszystkie elektrony uwolnione w powietrzu o masie dm zostaną całkowicie w powietrzu zahamowane.

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Jednostką dawki ekspozycyjnej jest kulomb na kilogram, **C/kg**. W użyciu jest również pozaukładowa jednostka – rentgen, R. Obie jednostki związane są ze sobą zależnością:

$$1R = 2,58 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$$

Ponieważ skład chemiczny powietrza (N_2 , O_2 , CO_2) jest zbliżony do składu pierwiastkowego tkanek, zatem sposób pochłaniania kwantów promieniowania w powietrzu jest podobny do jego pochłaniania w organizmie człowieka. Pozwalało to, w pierwszym przybliżeniu, na stosowanie pojęcia dawki ekspozycyjnej jako miary dawki pochłoniętej w tkankach człowieka.

W dozymetrii posługujemy się również pojęciem **mocy dawki**. Moc dawki to nic innego jak zmiana dawki w jednostce czasu. Zatem **mocą dawki ekspozycyjnej** będzie iloraz dX przez dt , gdzie dX jest przyrostem dawki ekspozycyjnej w przedziale czasu dt .

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

Jednostką mocy dawki ekspozycyjnej jest amper na kilogram, **A/kg**. W użyciu jest również jednostka pozaukładowa – rentgen na godzinę, R/h.

Pojęcie dawki i mocy dawki używa się „zamiennie”. Znając dawkę, często istotną informacją jest znajomość czasu, w którym tę dawkę otrzymaliśmy. Stąd mówi się, że moc dawki wynosi np. 5 mR/h, ale używamy również terminów: dawka tygodniowa, dawka roczna, choć formalnie rzecz biorąc, należałoby mówić o mocy dawki w ciągu tygodnia lub roku. Przy ocenie narażenia pracowników, dokonywanej za pomocą przyrządów dozymetrycznych, częściej mierzymy nie dawkę lecz moc dawki na stanowisku pracy i na tej podstawie określamy dawkę, jaką pracownik może otrzymać w określonym czasie np. w ciągu tygodnia czy roku.

Podstawową, najbardziej uniwersalną wielkością stosowaną w dozymetrii promieniowania jonizującego, jest **dawka pochłonięta D**. Ma ona sens dla wszystkich rodzajów promieniowania jonizującego i dla każdego rodzaju ośrodka, w którym to promieniowanie się rozchodzi. Definiujemy ją jako iloraz $\overline{dE}$ przez dm , gdzie $\overline{dE}$ jest średnią energią przekazaną materii o masie dm przez promieniowanie jonizujące.

$$D = \frac{\overline{dE}}{dm}$$

Jednostką dawki pochłoniętej w układzie SI jest **J/kg**. Jednostkę tę nazwano **grejem, Gy**.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Podobnie, jak dla dawki ekspozycyjnej, **mocą dawki pochłoniętej $\dot{D}$** jest iloraz dD przez dt , gdzie dD jest przyrostem dawki pochłoniętej w przedziale czasu dt .

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Jednostką mocy dawki pochłoniętej w międzynarodowym układzie jednostek SI jest grej na sekundę, Gy/s. Pomimo tego, że jednostką czasu w układzie SI jest sekunda, przy określaniu mocy dawek od dawna przyjęto, że jednostką czasu jest godzina. Stąd częściej moce dawek określamy na godzinę. Zatem jednostką mocy dawki pochłoniętej jest **Gy/h**.

Dla promieniowania pośrednio jonizującego, czyli dla promieniowania rentgenowskiego, gamma, neutronów, posługujemy się również pojęciem dawki **kerma**

(**k**inetic **e**nergy released in **m**ass unit). Opisuje ona pierwszy etap przekazu energii przez promieniowanie pośrednio jonizujące materii, przez którą przechodzi. **Kerma K** jest to suma początkowych energii kinetycznych wszystkich cząstek naładowanych uwolnionych pod wpływem promieniowania pośrednio jonizującego w jednostkowej masie przenikającego ośrodka. Zatem **kerma K** to iloraz dE_{tr} przez dm , gdzie dE_{tr} jest sumą początkowych energii kinetycznych cząstek naładowanych, uwolnionych w materiale o masie dm przez cząstki pośrednio jonizujące:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Jednostką kermy w układzie SI jest J/kg. Podobnie, jak dla dawki pochłoniętej, jednostką kermy to **grej, Gy**.

Mocą kermy K jest iloraz dK przez dt , gdzie dK jest przyrostem kermy w przedziale czasu dt :

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

Jednostką mocy kermy jest grej na sekundę, Gy/s. Jednostką częściej stosowaną jest **Gy/h**.

Jaka jest różnica między dawką pochłoniętą a kerma? Przy pochłanianiu promieniowania pośrednio jonizującego część energii powstających cząstek naładowanych zostaje zamieniana w promieniowanie hamowania bądź w promieniowanie będące wynikiem anihilacji cząstek i wydostaje się z interesującego nas obszaru. Jeżeli tę część oznaczmy jako g to dawka pochłonięta D jest mniejsza od kermy K o czynnik $(1-g)$. Na różnicę tę może mieć również wpływ brak równowagi cząstek naładowanych, kiedy strumień cząstek opuszczających dany element materii nie jest kompensowany przez cząstki dochodzące do tego elementu. Dla przykładu można podać, że dla promieniowania X i γ o energii 1 MeV, wartość dawki pochłoniętej w powietrzu jest mniejsza od kermy o ok. 0,4%.

Istotnym elementem z punktu widzenia zagrożenia radiologicznego jest także wiedza, z jaką aktywnością źródła mamy do czynienia. **Aktywność** to liczba przemian jądrowych zachodzących w źródle w jednostce czasu:

$$A = -\frac{dN}{dt} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

Jednostką aktywności jest **Bekerel (Bq)**. Jest to mała jednostka – zaledwie jeden rozpad na sekundę, zwykle używa się jej wielokrotności: kBq, MBq, GBq, TBq.

Dawniej stosowaną jednostką aktywności był **kiur (Ci)**:

$$1\text{Ci} \approx 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$$

Jest to w przybliżeniu aktywność 1 g Ra-226. Współczesne dokładniejsze badania wykazały, że radioaktywność 1 g Ra-226 wynosi w rzeczywistości $3,66 \cdot 10^{10}$ Bq.

Jednostka ta jest bardzo duża, źródła z którymi mamy do czynienia w praktyce mają aktywności na ogół mniejsze. Są one wtedy wyrażone w mCi, μ Ci, nCi, pCi.

Aktywność źródła A maleje wykładniczo z czasem t zgodnie ze wzorem:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

gdzie: A_0 – aktywność początkowa

e – podstawa logarytmów naturalnych ($e = 2,71...$)

λ – stała rozpadu, charakterystyczna dla danego izotopu

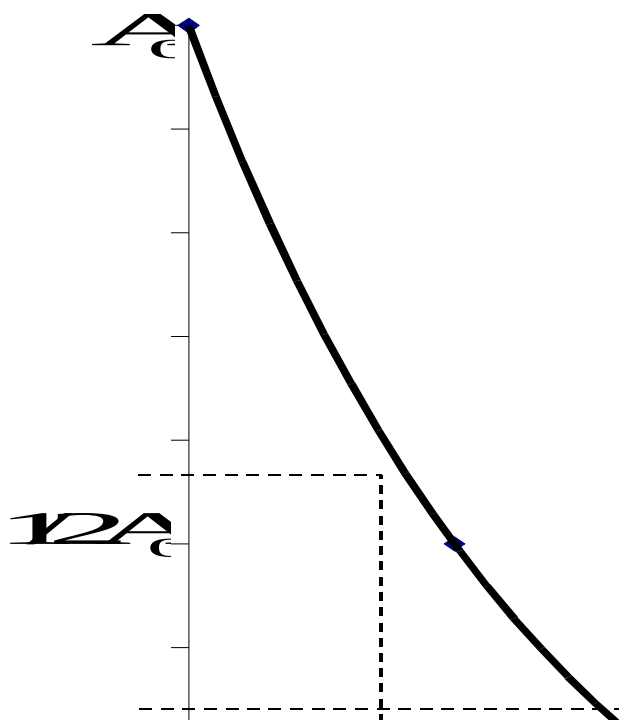
Powyższy wzór można przedstawić w innej – bardziej wygodnej z praktycznego punktu widzenia – formie:

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T}}$$

gdzie: T – okres połowicznego zaniku lub okres półrozpadu

Zależność tę można przedstawić w postaci wykresu zwanego krzywą rozpadu:

Aktywność



Opisane powyżej pojęcia, które można wyznaczyć drogą bezpośredniego pomiaru, są bardzo przydatne do określenia wielkości napromienienia i ewentualnych jego skutków fizycznych. Nie są jednakże wystarczające do określenia skutków biologicznych w organizmie człowieka. Skutki biologiczne nie zależą wyłącznie od wielkości dawki pochłoniętej. Mają na nie również wpływ inne czynniki m.in. rodzaj promieniowania i jego energia, gęstości jonizacji, czyli liczba jonów wytwarzanych na jednostce drogi. W ocenie skutków biologicznych należy również uwzględniać różne wrażliwości poszczególnych narządów i tkanek. Z tego powodu wprowadzono następne pojęcia dawek, za pomocą których można określić jakie skutki biologiczne powoduje promieniowanie jonizujące w narządach i tkankach oraz w całym organizmie.

Zgodnie z zaleceniami ICRP¹ z roku 1991 (Publikacja 60), dawkę w danej tkance lub narządzie z uwzględnieniem skutków biologicznych wywołanych przez różne rodzaje promieniowania jonizującego wyrażamy za pomocą **dawki równoważnej**. Podstawą oceny narażenia jest średnia dawka pochłonięta w narządzie lub tkance. W ocenie tej przyjmuje się,

¹ ICRP, International Commission on Radiological Protection, Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej,

że w przedziale małych dawek średnia wartość dawki pochłoniętej w określonych narządach i tkankach wpływa na prawdopodobieństwo wystąpienia efektów stochastycznych w tych tkankach. Oparte jest to na przyjętej przez ICRP hipotezie LNT (linear non threshold). Hipoteza ta zakłada, że nie ma dawki progowej dla efektów stochastycznych. Ostrość ich nie zależy od wartości dawki, a prawdopodobieństwo ich wystąpienia, w tym przedziale dawek, jest wprost proporcjonalne do tej wartości. Wpływ rodzaju i energii promieniowania na efekt biologiczny nazwano czynnikiem wagowym promieniowania oznaczając symbolem w_R . Wyznaczoną z uwzględnieniem tego czynnika dawkę nazwano dawką równoważną, dla której przyjęto symbol H_T .

Dawkę równoważną określamy wzorem:

$$H_T = w_R \cdot D$$

gdzie: D – dawka pochłonięta, uśredniona w tkance lub narządzie

w_R – czynnik wagowy promieniowania uwzględniający wpływ rodzaju i energii promieniowania jonizującego

Jeżeli pole promieniowania składa się z różnych rodzajów promieniowania o różnych energiach, którym odpowiadają różne czynniki wagowe w_R to całkowita dawka równoważna H_T w danej tkance lub narządzie określona jest wzorem:

$$H_T = w_{R1} D_1 + w_{R2} D_2 + \dots$$

gdzie: $D_1, D_2 \dots$ – dawki pochłonięte uśrednione w danej tkance lub narządzie dla różnych rodzajów promieniowania

$w_{R1}, w_{R2} \dots$ – czynniki wagowe odpowiednich rodzajów promieniowania

Wzór ten możemy również zapisać następująco:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Z uwagi na to, że czynniki wagowe są wielkościami bezwymiarowymi jednostką dawki równoważnej w układzie SI jest **J/kg**. Dawkę tę nazwano **siwertem, Sv**.

Wartości czynników wagowych promieniowania w_R zostały zestawione w Tab.1.

Tab. 1 Wartości czynnika wagowego promieniowania w_R ²

Rodzaj i zakres energii promieniowania	w_R
Fotony wszystkich energii	1
Elektrony i miony wszystkich energii	1
Neutrony <10 keV	5
10 keV do 100 keV	10
>100 keV do 2 MeV	20
>2 MeV do 20 MeV	10
>20 MeV	5
Protony >2 MeV (z wyłączeniem protonów odrzutu)	5
Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jądra	20

Prawdopodobieństwo wystąpienia efektów stochastycznych zależy nie tylko od wartości dawki równoważnej ale także od napromienionej tkanki (narządu). Stworzyło to potrzebę wyznaczenia wielkości, która będzie zależna od zróżnicowanego oddziaływania promieniowania na różne tkanki i pozwoli, z punktu widzenia potrzeby oceny skutku końcowego, na zsumowanie poszczególnych dawek równoważnych. Wielkość tę wyznaczono mnożąc dawki równoważne przez dodatkowy czynnik zwany czynnikiem wagowym narządu lub tkanki. Jest to ważona dawka równoważna (podwójnie ważona dawka pochłonięta). Nazwano tę dawkę **dawką skuteczną (efektywną)**.

Dawka efektywna E, jest to suma dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich czynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała. Jest ona wyrażona wzorem:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Wzór ten można również przedstawić w postaci:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

² Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20, poz. 168, 2005 r.)

We wzorach tych:

$D_{T,R}$ – dawka pochłonięta od promieniowania jonizującego R, uśredniona w tkance lub narządzie T

w_R – czynnik wagowy promieniowania jonizującego R

w_T – czynnik wagowy tkanki lub narządu T

Jednostką dawki efektywnej w układzie SI jest J/kg. Podobnie, jak dla dawki równoważnej, dawkę tę nazwano **siwertem, Sv**.

Dawka efektywna jest ważona w ten sposób , że

$$\sum_T w_T = 1$$

Czynnik wagowy tkanki lub narządu w_T wyraża stosunek ryzyka wystąpienia stochastycznych efektów napromienienia tkanki (narządu) T do ryzyka wystąpienia tych skutków, przy jednorodnym napromienieniu tą samą dawką, całego ciała. Wartości czynnika wyznaczono na podstawie epidemiologicznych badań występowania nowotworów po napromienieniu i oceny ryzyka efektów genetycznych. Wartości czynnika w_T są wartościami średnimi dla obu rodzajów płci i mogą być stosowane do oceny narażenia we wszystkich grupach wieku osób narażonych zawodowo jak również poszczególnych osób z ludności. Wartości czynników wagowych tkanek i narządów przedstawia Tab.2.

W przypadku wniknięcia izotopów do wnętrza organizmu do oceny narażenia wewnętrznego wprowadzono następne pojęcia dawek tzw. **równoważną dawkę obciążającą** i **efektywną dawkę obciążającą**. Określają one dawki sumaryczne otrzymywane przez organizm w ciągu pewnego czasu. Dawki te zależą od przebiegu wchłaniania substancji radioaktywnych i szybkości zanikania ich w organizmie.

Równoważną dawkę obciążającą $H_T(\tau)$ definiujemy jako dawkę, którą otrzymuje narząd lub tkanka w czasie τ w wyniku wniknięcia do organizmu określonego izotopu promieniotwórczego. Możemy ją określić następującym wzorem:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} H_T(t) dt$$

gdzie: t_0 – moment wnikięcia izotopu promieniotwórczego

τ – liczba lat okresu objętego całkowaniem

$H_T(t)$ - moc dawki równoważnej w tkance lub narządzie T w chwili t

W przypadku nieokreślenia wartości τ należy przyjąć 50 lat dla osób dorosłych i 70 lat dla dzieci.

Jednostką równoważnej dawki obciążającej jest **siwert (Sv)**.

Tab. 2 Wartości czynników wagowych tkanek (narządów), w_T ³

Tkanka lub narząd, T	w_T
Gonady	0,20
Czerwony szpik kostny	0,12
Jelito grube	0,12
Płuca	0,12
Żołądek	0,12
Pęcherz moczowy	0,05
Gruzoły piersiowe	0,05
Wątroba	0,05
Przełyk	0,05
Tarczycza	0,05
Skóra	0,01
Powierzchnia kości	0,01
Pozostałe	0,05
Całe ciało	1,00 ^{4,5}

³ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20, poz. 168, 2005 r.)

⁴ Do celów obliczeniowych pozycja "pozostałe" obejmuje następujące tkanki (narządy): nadnercza, mózg, górną część jelita grubego, jelito cienkie, nerki, mięśnie, trzustkę, śledzionę, grasnicę, macicę; może ona obejmować także tkanki, które mają znaczenie dla możliwości indukowania efektów stochastycznych oraz mogą być napromienione selektywnie.

⁵ W wyjątkowych przypadkach, kiedy pojedyncza tkanka (narząd) należąca do pozycji "pozostałe" otrzymuje dawkę równoważną przekraczającą największą dawkę w dowolnym z wymienionych w tabeli dwunastu narządów, dla których wyznaczono określone wartości w_T , należy do tej tkanki (narządu) zastosować czynnik wagowy równy 0,025 oraz czynnik 0,025 do średniej dawki w reszcie tkanek (narządów) z pozycji "pozostałe".

Efektywna dawka obciążająca to suma iloczynów równoważnych dawek obciążających $H_T(\tau)$ w pojedynczych narządach lub tkankach spowodowanych wniknięciem substancji promieniotwórczych do organizmu i odpowiednich czynników wagowych tych narządów lub tkanek w_T . Dawkę tę możemy wyrazić wzorem:

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau)$$

W przypadku nieokreślenia wartości τ przyjmuje się – podobnie jak dla równoważnej dawki obciążającej – 50 lat dla osób dorosłych i 70 lat dla dzieci.

Jednostką skutecznej dawki obciążającej jest **siwert (Sv)**.

W celu określenia dawki efektywnej, którą otrzymała dana osoba w wyniku narażenia zewnętrznego i wewnętrznego w ciągu określonego czasu to sumujemy dawkę efektywną od narażenia zewnętrznego E_z w ciągu tego czasu oraz efektywne dawki obciążające, spowodowane wniknięciem nuklidów promieniotwórczych do organizmu w tym samym czasie określone dla czasu 50 lat od momentu wniknięcia lub - w przypadku dzieci - dla czasu od momentu wniknięcia do osiągnięcia przez nie wieku 70 lat. Zatem dawkę tę dla osoby w grupie wiekowej g możemy określić wzorem⁶:

$$E = E_z + \sum_j e(g)_{j,p} J_{j,p} + \sum_j e(g)_{j,o} J_{j,o}$$

gdzie:

$e(g)_{j,p}$ i $e(g)_{j,o}$ – oznaczają jednostkowe obciążające dawki efektywne dla osób w grupie wiekowej g , to znaczy obciążające dawki efektywne (w siwertach), jakie osoby te otrzymują w wyniku wniknięcia do ich organizmu drogą pokarmową (indeks p) lub drogą oddechową (indeks o) jednostkowej aktywności (czyli jednego bekerela 1 Bq) nuklidu j ; dawki te, zależne od sposobu przechodzenia nuklidu do przewodu pokarmowego i z przewodu pokarmowego do płynów ustrojowych, określonego wartością czynnika f_1 , oraz od szybkości absorpcji w płucach (która może być szybka F , umiarkowana M lub powolna S), określają tabele 4-7, odrębnie dla osób z

⁶ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20, poz. 168, 2005 r.)

ogółu ludności i dla pracowników; typ absorpcji płucnej i wartości czynnika f_1 stosowane przy obliczeniu obciążających dawek efektywnych od związków chemicznych określają tabele 8 i 9,

$J_{j,p}$ i $J_{j,o}$ – oznaczają aktywności (w bekerelach) nuklidu j , który wniknął do organizmu drogą pokarmową (indeks p) lub oddechową (indeks o).

Przy ocenie zawodowego narażenia interesują nas najczęściej dawki obciążające w okresie roku kalendarzowego tzn. okresu dla którego podane są w przepisach dawki graniczne. Mimo, że interesuje nas w tym przypadku dawka obciążająca w roku kalendarzowym, w którym nastąpiło wniknięcie, nie popełniamy dużego błędu korzystając z wartości podanych w przepisach dawek jednostkowych dla dużo dłuższego okresu czasu. Jeśli bowiem półokres fizyczny nuklidu jest krótki to całą dawkę (lub przeważającą jej część) otrzyma organizm w danym roku, a jeśli jest długi, to dawka, którą otrzyma w późniejszych latach zostanie pesymistycznie uwzględniona w obliczonej dawce obciążającej w danym roku.

Dla celów optymalizacji⁷ głównie w kontekście narażenia zawodowego wprowadzono pojęcie zbiorowej (kolektywnej) dawki efektywnej.

Zbiorowa (kolektywna) dawka efektywna jest to iloczyn liczby osób N_i w grupie i oraz średniej dawki efektywnej E_i w tej grupie osób narażonych od określonego źródła promieniowania:

$$S_i = N_i E_i$$

Jeśli populacja narażonych od określonego źródła osób składa się z różnych grup, dawka zbiorowa tej populacji jest sumą dawek w poszczególnych grupach:

$$S = \sum_i N_i E_i$$

Jednostką dawki zbiorowej jest osobosiwert.

⁷ Optymalizacja polega na utrzymywaniu dawek na jak najniższym, rozsądnym poziomie tzn. na poziomie takim, że koszty ponoszone na ochronę radiologiczną są do zaakceptowania z ekonomicznego punktu widzenia (zysk przewyższa straty). Jest to tzw. zasada **ALARA** (as low as

reasonable achievable - taking economic and social consideration into account).

Wielkość ta jest stosowana głównie dla przeprowadzania procedury optymalizacji. Jest ona oparta na przyjętej, przy ocenie stochastycznych skutków promieniowania, hipotezie LNT (linear non threshold) i sens jej stosowania jest ostatnio mocno krytykowany. Została jednak utrzymana przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej (ICRP).

Wielkości charakteryzujące narażenie organizmu człowieka, w których określone są limity ograniczenia tego narażenia (dawka równoważna i efektywna) jako odniesione do średniej dawki pochłoniętej w tkance (narządzie) są niemierzalne. Dlatego aby ocenić dawkę równoważną lub efektywną na podstawie pomiaru promieniowania, niezbędnym jest posługiwanie się mierzalnymi tzw. **wielkościami operacyjnymi**, które powinny w wystarczającym stopniu służyć jako miarodajne wskaźniki tych dawek. Zostały one tak zdefiniowane, aby dla większości pól promieniowania mierzone wielkości operacyjne były większe od wartości dawki równoważnej i efektywnej. Zatem przy wykonywaniu pomiarów wielkości operacyjnych uzyskuje się zawyżone (konserwatywne) wartości dawki równoważnej i efektywnej.

Przy ocenie narażenia od zewnętrznych źródeł promieniowania taką wskaźnikową wielkością jest **równoważnik dawki**. Służy on zarówno do oceny potencjalnego narażenia w miejscach pracy ze źródłami promieniowania i w ich otoczeniu jak i do oceny dawek indywidualnych pracowników. **Równoważnik dawki H** definiowany jest jako iloczyn dawki pochłoniętej D w określonym punkcie i czynnika jakości promieniowania Q:

$$H = D \cdot Q$$

Przykładowo wartości czynnika jakości promieniowania wynoszą odpowiednio :

- dla promieniowania X i γ powyżej 30 keV - 1
- dla promieniowania β powyżej 30 keV - 1
- dla promieniowania α , neutronów, protonów, ciężkich jonów - 25
- dla neutronów termicznych - 4,5

Jednostką równoważnika dawki jest džul na kilogram $J \cdot kg^{-1}$; dla jednostki tej przyjęto nazwę **siwert (Sv)**.

Różne wielkości tego wskaźnika, zależne od celu zastosowań, zdefiniowała Międzynarodowa Komisja Jednostek i Pomiarów Promieniowania ICRU.

Wielkości operacyjne dla kontroli otoczenia to **przestrzenny równoważnik dawki i kierunkowy równoważnik dawki**.

Przestrzenny równoważnik dawki $H^*(d)$ definiowany jest jako równoważnik dawki w danym punkcie rzeczywistego pola promieniowania, jaki byłby wytworzony przez odpowiednie, rozciągle i zorientowane pole w kuli ICRU⁸ na danej głębokości d , wzdłuż promienia o zwrocie przeciwnym do kierunku pola zorientowanego; przy czym pole rozciągle i zorientowane określa się jako pole promieniowania, w którym fluencja oraz jej rozkład przestrzenny i energetyczny są takie same jak dla pola rozciąglego, ale sama fluencja ma wyróżniony kierunek.

Jednostką przestrzennego równoważnika dawki jest **siwert, Sv**.

Kierunkowy równoważnik dawki $H'(d, \Omega)$

Jest to równoważnik dawki w danym punkcie rzeczywistego pola promieniowania, jaki byłby wytworzony przez odpowiednie, rozciągle pole w kuli ICRU na danej głębokości d , wzdłuż promienia o określonym kierunku Ω , przy czym pole rozciągle określa się jako pole promieniowania, w którym fluencja oraz jej rozkład kierunkowy i energetyczny mają w całym obszarze takie same wartości jak w rozpatrywanym punkcie pola rzeczywistego.

Jednostką kierunkowego równoważnika dawki jest **siwert, Sv**.

Wielkością operacyjną do kontroli dawek indywidualnych jest **indywidualny równoważnik dawki $H_p(d)$** .

Definiowany on jest jako równoważnik dawki w tkance miękkiej, na danej głębokości d , w danym punkcie pod powierzchnią ciała.

Jednostką indywidualnego równoważnika dawki jest **siwert, Sv**.

Głębokość d , która występuje w ww. definicjach, w zależności od przenikliwości promieniowania wynosi:

10 mm dla promieniowania silnie przenikliwego

⁸ Fantom wprowadzony przez ICRU w celu przybliżonego odtworzenia ciała ludzkiego z punktu widzenia pochłaniania promieniowania. Jest to kula z materiału równoważnego miękkiej tkance, o średnicy 30 cm i gęstości 1 g cm^{-3} , której skład masowy to 76,2 % tlenu, 11,1 % węgla, 10,1 % wodoru i 2,6 % azotu.

0,07 mm dla promieniowania słabo przenikliwego (dla skóry)

3 mm dla soczewek oczu

Jak podano wyżej do monitorowania dawek w środowisku zalecaną wielkością operacyjną jest przestrzenny równoważnik dawki. Wielkość tę mierzymy w referencyjnym punkcie pola promieniowania przenikliwego, przyjmując głębokość $d = 10 \text{ mm} - H^*(10)$. Zgodnie z podaną definicją punkt ten znajduje się na głębokości 10 mm w kuli, będącej fantomem antropomorficznym, zastępującym tułów ciała człowieka. Najczęściej promieniowanie jonizujące w środowisku dociera do dawkomierza z wielu kierunków. Zgodnie z definicją przestrzennego równoważnika dawki rzeczywiste niejednorodne pole promieniowania zastępuje się polem o takim samym natężeniu, w którym promieniowanie w postaci wiązki równoległej pada od strony punktu referencyjnego. Tak określony przestrzenny równoważnik dawki jest pesymistycznym przybliżeniem dawki efektywnej gdyż w tym przypadku osłabienie wiązki promieniowania następuje tylko w warstwie 10 mm a nie w całej objętości kuli.

Dawkomierze stosowane do pomiaru dawek w środowisku z reguły nie są umieszczone na ciele człowieka. Zatem by mogły mierzyć tak zdefiniowane wielkości muszą być w odpowiedni sposób wzorcowane.

Do kontroli dawek indywidualnych pracowników wielkością operacyjną jest **indywidualny równoważnik dawki $H_p(d)$** . Dla promieniowania przenikliwego odpowiednią głębokością pod określonym punktem reprezentatywnym dla oceny narażenia na powierzchni ciała jest $d = 10 \text{ mm}$. Tak zdefiniowany indywidulny równoważnik dawki w sposób konserwatywny określa rzeczywiste dawki w narządach ponieważ dla promieniowania przenikliwego wartości dawek maleją wraz z przechodzeniem promieniowania w głąb ciała, a większość narządów i tkanek jest usytuowana głębiej niż 10 mm. Zatem indywidulny równoważnik dawki $H_p(10)$ jest dobrym estymatorem dawki efektywnej (dawki na całe ciało).

Dla promieniowania mało przenikliwego określa się indywidulny równoważnik dawki $H_p(0,07)$ dla głębokości pomiaru $d = 0,07 \text{ mm}$, która odpowiada głębokości warstwy komórek skóry.

Dla oceny narażenia soczewek oczu można spotkać się ze stosowaniem równoważnika $H_p(3)$, ale w praktyce jest to bardzo rzadko stosowane i także w tym przypadku wystarcza pomiar $H_p(0,07)$.

By zmierzyć tak zdefiniowane indywidualne równoważniki dawek dawkomierze powinny być umieszczone w materiale równoważnym tkance o odpowiedniej grubości i noszone w reprezentacyjnym miejscu na powierzchni ciała. Zakładając, że tkanki są napromieniane równomiernie można wtedy przyjąć, że dawka odpowiada mierzonemu równoważnikowi dawki. Do pomiaru dawki efektywnej detektor najczęściej umieszcza się na piersi a do oceny dawki równoważnej na kończynach, najczęściej na nadgarstku ewentualnie na palcach.

Dawkomierze stosowane do ww. pomiarów powinny być w odpowiedni sposób wzorcowane. Z tego powodu detektory umieszcza się na referencyjnych fantomach reprezentujących ciało człowieka lub jego części np. kończyny. Takie postępowanie pozwala przybliżyć warunki istniejące podczas wzorcowania do rzeczywistych warunków, w których detektory mierzą interesujące nas dawki.

Niestety nie ma wielkości operacyjnych pozwalających na ocenę dawki od skażeń wewnętrznych. Oceny dokonuje się na podstawie określenia rodzaju nuklidów, które dostały się do organizmu oraz pomiaru ich aktywności. Można tego dokonać mierząc np. aktywność nuklidów w wydzielinach lub w całym ciele (licznik całego ciała). Można również oceniać narażenie od skażeń wewnętrznych na podstawie pomiaru stężeń poszczególnych izotopów w powietrzu, wodzie i żywności. Korzysta się wówczas z odpowiednich referencyjnych współczynników konwersji ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$) pozwalających na ocenę dawki równoważnej. Efektywną dawkę obciążającą można natomiast oszacować na podstawie podanych w przepisach jednostkowych efektywnych dawek obciążających oraz znajomości aktywności i okoliczności wniknięcia nuklidów do wnętrza organizmu.

ROZDZIAŁ 5

OCENA NARAŻENIA, DAWKI GRANICZNE

System ochrony radiologicznej funkcjonuje w kraju na podstawie ustawy Prawo atomowe oraz aktów wykonawczych do ustawy, jak również rozporządzeń Unii Europejskiej oraz traktatów i konwencji międzynarodowych, których Polska jest stroną. Zgodnie z ww. aktami prawnymi pracownicy zatrudnieni w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące oraz osoby z ogółu ludności nie mogą otrzymywać z tego powodu dawek większych od granicznych.

Według ustawy Prawo atomowe **dawka graniczna** to wartość dawki promieniowania jonizującego, wyrażona jako dawka efektywna lub równoważna, dla określonych osób, pochodząca od kontrolowanej działalności zawodowej, której, poza wyjątkowymi przypadkami, nie wolno przekroczyć.

Dawki graniczne obejmują sumę dawek pochodzących od narażenia zewnętrznego i wewnętrznego.

Dawki graniczne nie obejmują narażenia na promieniowanie **naturalne**, jeżeli narażenie to nie zostało zwiększone w wyniku działalności człowieka, w szczególności nie obejmują narażenia pochodzącego od **radonu w budynkach mieszkalnych**, od naturalnych nuklidów promieniotwórczych wchodzących w **skład ciała ludzkiego**, od **promieniowania kosmicznego** na poziomie ziemi, jak również narażenia nad powierzchnią ziemi od nuklidów promieniotwórczych znajdujących się w **nienaruszonej skorupie ziemskiej**.

Dawek granicznych **nie stosuje się** do osób poddawanych działaniu promieniowania jonizującego **w celach medycznych**.

Suma dawek promieniowania jonizującego dla pracowników oraz ogółu ludności, pochodzących od wszystkich rodzajów wykonywanej działalności łącznie, nie może, za wyjątkiem pewnych przypadków – o których będzie mowa w dalszej części rozdziału – przekraczać dawek granicznych określonych w Rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. Rozporządzenie określa wielkości dawek granicznych, wskaźniki pozwalające na wyznaczenie dawek stosowane przy ocenie narażenia

oraz sposób i częstotliwość dokonywania oceny narażenia pracowników i osób z ogółu ludności. Wielkości rocznych dawek granicznych, wyrażonych jako dawka efektywna lub dawka równoważna, zostały zestawione w Tabeli 1. Dawki te zostały określone dla trzech grup narażenia. Grupa pierwsza to pracownicy. Do grupy tej zaliczono również uczniów, studentów i praktykantów w wieku powyżej 18 lat. Grupa druga to uczniowie, studenci i praktykanci w wieku od 16 do 18 lat. Trzecia to osoby z ogółu ludności, do których zaliczono uczniów studentów i praktykantów w wieku poniżej 16 lat.

Tabela 1. Dawki graniczne

Grupy narażenia	Dawka efektywna mSv/rok	Dawka równoważna mSv/rok	
		oczy	skóra ^{***)} , dłonie, przedramiona, stopy, podudzia
Pracownicy, uczniowie, studenci i praktykanci w wieku ≥ 18 lat^{****)}	20^{*)}	150	500
Uczniowie, studenci i praktykanci w wieku od 16 do 18 lat	6	50	150
Osoby z ogółu ludności oraz uczniowie, studenci i praktykanci w wieku poniżej 16 lat	1^{**)}	15	dla skóry 50

^{*)} wartość tej dawki może być w danym roku kalendarzowym przekroczona do wartości **50 mSv**, pod warunkiem że w ciągu kolejnych **pięciu** lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy **100 mSv**

^{**) dla ogółu ludności dawka może być w danym roku kalendarzowym przekroczona, pod warunkiem że w ciągu kolejnych **pięciu** lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy **5 mSv**}

^{***)} dla skóry, jako wartość średnia dla dowolnej powierzchni 1 cm² napromienionej części skóry

^{****)} kobieta, od chwili zawiadomienia przez nią kierownika jednostki organizacyjnej o ciąży, nie może być zatrudniona w warunkach prowadzących do otrzymania przez mające urodzić się dziecko dawki efektywnej przekraczającej wartość **1 mSv**

Kobieta karmiąca piersią nie może być zatrudniona w warunkach narażenia na skażenia wewnętrzne i zewnętrzne.

Osoby w wieku poniżej 18 lat mogą być zatrudnione w warunkach narażenia jedynie w celu nauki lub przyuczenia do zawodu.

Narażenie pracowników oraz osób z ogółu ludności ocenia się w oparciu o otrzymane przez nich dawki efektywne i dawki równoważne.

Oceny narażenia pracowników dokonuje się dla każdego roku kalendarzowego na podstawie dawek wyznaczonych za pomocą pomiarów dozymetrycznych, wykonywanych w okresach nie dłuższych niż trzymiesięczne, a jeżeli okres zatrudnienia w warunkach narażenia jest krótszy niż trzy miesiące, po zakończeniu tego okresu. Oceny narażenia osób z ogółu ludności dokonuje się raz w roku.

Wyznaczając dawki efektywne, zmniejsza się je o dawki wynikające z naturalnego tła promieniowania jonizującego występującego na danym terenie, uwzględniając rzeczywisty czas narażenia. Jeżeli tło naturalne nie jest znane, za jego wartość przyjmuje się **2,4 mSv** w ciągu roku kalendarzowego. Jest to dawka, jaką otrzymuje statystyczny mieszkaniec Polski od różnych naturalnych źródeł promieniowania jonizującego. Na dawkę tę składają się dawki od radonu i toronu, dawki spowodowane zewnętrznym promieniowaniem gamma i promieniowaniem kosmicznym oraz dawki wynikające z wchłonień wewnętrznych. Wielkości tych dawek zostały przedstawione w postaci wykresu kołowego na Rysunku 1.

Jak można zauważyć największą składową dawki efektywnej otrzymywanej przez statystycznego mieszkańca Polski jest **radon**. Jak się powszechnie ocenia ponad połowa dawki, którą otrzymuje ludność od źródeł naturalnych wynika z wdychania radonu w pomieszczeniach mieszkalnych. Również górnicy pracujący pod ziemią narażeni są na zwiększoną ekspozycję na radon. Izotopem radonu, który decyduje o największym narażeniu jest **Ra-222**. Pochodzi on z rozpadu Ra-226 znajdującego się w skorupie ziemskiej. Radon jest gazem szlachetnym dlatego przy oddychaniu prawdopodobieństwo jego wychwytu jest niewielkie. Dużo groźniejsze są natomiast krótkożyciowe pochodne radonu, które będąc ciałami stałymi przyczepiają się do aerozoli istniejących w powietrzu i osadzają się w układzie oddechowym człowieka, głównie na nabłonkach oskrzeli i pęcherzykach płucnych. Pochodne radonu emitują wysokoenergetyczne cząstki alfa, które są przyczyną uszkodzeń

ww. fragmentów układu oddechowego. Może to prowadzić do powstania choroby nowotworowej płuc.

Innym izotopem radonu, od którego otrzymujemy kilkunastokrotnie mniejszą dawkę niż od Rn-222, jest **Rn-220** zwany **toronem**.

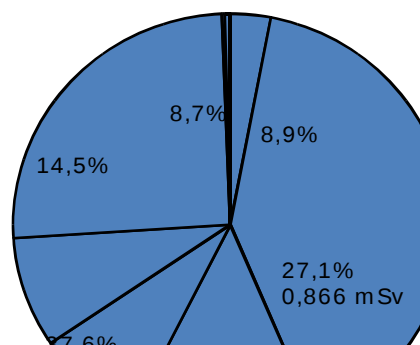
Składowa dawki efektywnej spowodowana zewnętrznym **promieniowaniem gamma** pochodzi od radionuklidów zawartych w skorupie ziemskiej oraz materiałach budowlanych. Główny udział w tej dawce mają izotopy następujące: K-40, izotopy szeregu uranowego oraz szeregu torowego.

Promieniowanie kosmiczne również jest źródłem narażenia na promieniowanie. Powoduje ono otrzymywanie przez ludność dawki efektywnej, równej ok. 0,3 mSv. Dawka od promieniowania kosmicznego rośnie z wysokością. Związane jest to z pochłanianiem tego promieniowania przez atmosferę. Zatem większą dawkę dostają ludzie mieszkający na większych wysokościach nad powierzchnią morza. Przykładowo można podać, że ludność mieszkająca na wysokości 2500 m otrzymuje dawkę promieniowania kosmicznego ok. kilka razy większą niż mieszkańcy terenów nadmorskich.

Rysunek 1. Roczne dawki efektywne od różnych źródeł promieniowania jonizującego otrzymane przez ludność Polski w 2009 r.⁹

Źródła naturalne (72,9%)
2,325 mSv

Źródło
0,86



Dawka powodowana wchłanianiem przez organizmy żywe drogą pokarmową lub oddechową naturalnych pierwiastków promieniotwórczych jest przyczyną narażenia wewnętrznego ludności. Dawkę tę oszacowano na ok. 0,3 mSv. Na dawkę tę składa się, w największym stopniu, dawka od potasu K-40, który znajduje się w naszym organizmie. Dawka ta, wynosząca dla mieszkańca Polski średnio ok. 0,17 mSv jest praktycznie niezależna od wchłonięcia tego radionuklidu i determinowana metabolizmem. Pozostała część dawki, wynikająca z wchłonięć na drodze pokarmowej, pochodzi głównie od izotopów takich jak Ra-226, Pb-210, Po-210, natomiast spowodowana wchłonięciami na drodze oddechowej od radionuklidów takich jak Pb-210, Ra-226, Ra-228, Be-7 oraz K-40.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami ocenę narażenia pracowników dokonuje kierownik jednostki organizacyjnej, na terenie której nastąpiło narażenie, albo Prezes Państwowej Agencji Atomistyki, jeżeli ustalenie takiej jednostki nie jest możliwe.

W sytuacji narażenia na skutek przypadku ocenie podlegają dawki promieniowania jonizującego otrzymane przez narażoną osobę. Narażenie to nie dotyczy sytuacji, w której uczestniczą osoby biorące udział w usuwaniu skutków zdarzenia radiacyjnego oraz w działaniach interwencyjnych.

W celu dostosowania sposobu oceny zagrożenia pracowników w jednostkach organizacyjnych do jego spodziewanego poziomu, w zależności od wielkości zagrożenia, wprowadza się dwie kategorie pracowników:

1) **kategorię A** obejmującą pracowników, którzy mogą być narażeni na dawkę efektywną przekraczającą **6 mSv** w ciągu roku lub na dawkę równoważną przekraczającą **trzy dziesiąte** wartości dawek granicznych dla soczewek oczu, skóry i kończyn, podanych w Tabeli 1.

2) **kategorię B** obejmującą pracowników, którzy mogą być narażeni na dawkę efektywną przekraczającą **1 mSv** w ciągu roku lub na dawkę równoważną przekraczającą **jedną dziesiątą** wartości dawek granicznych dla soczewek oczu, skóry i kończyn, podanych w Tabeli 1 i którzy nie zostali zaliczeni do kategorii A.

Ocenę narażenia pracowników prowadzi się na podstawie kontrolnych pomiarów **dawek indywidualnych** lub pomiarów dozymetrycznych **w środowisku pracy**.

Pracownicy kategorii A podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie systematycznych pomiarów **dawek indywidualnych**, a jeżeli mogą być narażeni na skażenie

wewnętrzne mające wpływ na poziom dawki efektywnej dla tej kategorii pracowników, podlegają również pomiarom **skażeń wewnętrznych**.

Pracownicy **kategorii B** podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie **pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy** w sposób pozwalający stwierdzić prawidłowość zaliczenia pracowników do tej kategorii. Zezwolenie wydawane przez Prezesa PAA może zawierać warunek prowadzenia oceny narażenia pracowników kategorii B wykonujących prace określone w tym zezwoleniu na podstawie pomiarów dawek indywidualnych.

W przypadku gdy pomiar dawki indywidualnej jest niemożliwy, ocenę dawki indywidualnej otrzymanej przez pracownika kategorii A można dokonać na podstawie wyników pomiarów dawek indywidualnych przeprowadzonych dla innych narażonych pracowników tej kategorii albo na podstawie wyników pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy.

Zaliczenia pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia do kategorii A lub B dokonuje **kierownik jednostki organizacyjnej**, w zależności od przewidywanego poziomu narażenia tych pracowników.

W zależności od wielkości i rodzajów zagrożeń, kierownik jednostki organizacyjnej wprowadza podział lokalizacji miejsc pracy na:

1) **tereny kontrolowane**, tam, gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla **pracowników kategorii A**, istnieje możliwość **rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych** lub mogą występować **duże zmiany mocy dawki** promieniowania jonizującego;

2) **tereny nadzorowane**, tam, gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla **pracowników kategorii B** i które nie zostały zaliczone do terenów kontrolowanych.

Szczegółowe wymagania dotyczące terenów kontrolowanych i nadzorowanych określone są w Rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych. Za spełnienie tych wymagań odpowiedzialny jest **kierownik jednostki organizacyjnej**, który podejmuje określone działania w celu spełnienia tych wymagań **po zasięgnięciu opinii inspektora ochrony radiologicznej**.

W szczególnych przypadkach, z wyłączeniem zdarzeń radiacyjnych, pracownicy kategorii A, za ich zgodą i za zgodą Prezesa Agencji, mogą otrzymać określone przez Prezesa Agencji dawki przekraczające wartości dawek granicznych, jeżeli jest to konieczne dla wykonania **określonego zadania** w określonym miejscu pracy i w określonym czasie. W pracy takiej nie mogą brać udziału **praktykanci, uczniowie, studenci oraz kobiety w ciąży, i kobiety karmiące piersią**, jeżeli w wyniku narażenia jest prawdopodobne powstanie **skażeń promieniotwórczych ciała**. Kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany **uzasadnić konieczność narażenia** przy takiej pracy i z wyprzedzeniem szczegółowo omówić związane z tym kwestie z zainteresowanymi pracownikami - ochotnikami lub ich przedstawicielami, oraz z uprawnionym lekarzem i inspektorem ochrony radiologicznej, a także poinformować zainteresowanych **pracowników – ochotników o ryzyku związanym z narażeniem**, i o niezbędnych środkach ostrożności. Formalności związane z ww. postępowaniem powinny być udokumentowane **w formie pisemnej**.

Otrzymane przez biorące w takiej pracy osoby **dawki**, powinny być **oddzielnie** rejestrowane w dokumentacji medycznej. Otrzymanie tych dawek nie może powodować **odsunięcia pracownika od normalnych zajęć lub przesunięcia go na inne stanowisko bez jego zgody**.

Osoba uczestnicząca w **usuwaniu skutków zdarzenia radiacyjnego oraz w działaniach interwencyjnych** nie może otrzymać w czasie trwania tych działań dawki przekraczającej wartość rocznej dawki granicznej dla pracowników, **z wyjątkiem sytuacji narażenia wyjątkowego**.

W sytuacji **narażenia wyjątkowego** wynikającego z działań mających na celu:

- 1) zapobieżenie poważnej utracie zdrowia,
- 2) uniknięcie dużego napromieniowania znacznej liczby osób,
- 3) zapobieżenie katastrofie na większą skalę

- należy dołożyć wszelkich starań, żeby osoba uczestnicząca w takich działaniach nie otrzymała dawki skutecznej **przekraczającej 100 mSv**.

Osoba uczestnicząca w **ratowaniu życia ludzkiego** może otrzymać dawkę skuteczną przekraczającą 100 mSv, jednakże należy dołożyć wszelkich starań, żeby nie otrzymała dawki skutecznej przekraczającej **500 mSv**.

Osobami podejmującymi ww. działania mogą być wyłącznie **ochotnicy**, którzy przed podjęciem tych działań zostali poinformowani o związanym z ich działaniem ryzyku dla zdrowia, a następnie dobrowolnie podjęli decyzję o udziale w działaniach. **Rezygnacja z udziału w działaniach nie może stanowić podstawy do rozwiązania stosunku pracy.**

Podczas takich działań podejmuje się wszelkie środki w celu zapewnienia odpowiedniej ochrony osób biorących udział w działaniach oraz dokonania oceny i udokumentowania dawek otrzymywanych przez te osoby. Po zakończeniu działań osoby te są informowane o otrzymanych dawkach i wynikającym z tego ryzyku dla zdrowia.

Osoby, które otrzymały ww. dawki nie mogą być odsunięte od dalszej pracy zawodowej w warunkach narażenia bez ich zgody. Jednak osoby te kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany skierować na badania lekarskie. Dalsza pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące wymaga zgody uprawnionego lekarza.

Kierownik jednostki organizacyjnej obowiązany jest prowadzić **rejestr dawek indywidualnych** otrzymywanych przez pracowników zaliczonych do **kategorii A**.

Pomiary dawek indywidualnych oraz pomiary służące ocenie dawek od narażenia wewnętrznego powinny być dokonywane przez podmioty posiadające **akredytację**.

Centralny rejestr dawek prowadzi Prezes Agencji na podstawie wyników pomiarów i ocen otrzymywanych od kierownika jednostki organizacyjnej.

Inspektor ochrony radiologicznej, do czasu dokonania pomiarów dawek indywidualnych oraz pomiarów służących ocenie dawek od narażenia wewnętrznego przez podmiot posiadający akredytację, powinien dokonywać **wstępnej operacyjnej oceny dawek indywidualnych otrzymanych przez pracowników zewnętrznych** wykonujących działalność na terenie kontrolowanym w jednostce organizacyjnej.

Inspektor ochrony radiologicznej może, do czasu dokonania pomiarów dawek indywidualnych oraz pomiarów służących ocenie dawek od narażenia wewnętrznego przez podmiot posiadający akredytację, dokonać **wstępnej operacyjnej oceny dawek indywidualnych otrzymanych przez innych niż pracownicy zewnętrzni** pracowników wykonujących pracę w jednostce organizacyjnej.

Przed zatrudnieniem pracownika w warunkach narażenia **kierownik** jednostki organizacyjnej jest obowiązany wystąpić do Prezesa Agencji z wnioskiem o **informację z**

centralnego rejestru dawek o dawkach otrzymanych przez tego pracownika w roku kalendarzowym, w którym występuje z wnioskiem, oraz w okresie czterech poprzednich lat kalendarzowych.

Działalność zawodowa związana z występowaniem **promieniowania naturalnego** prowadzącego do wzrostu narażenia pracowników lub ludności, istotnego z punktu widzenia ochrony radiologicznej, **wymaga oceny tego narażenia**. Ocena narażenia dokonywana jest na podstawie pomiarów dozymetrycznych w **środowisku pracy**.

Do takiej działalności zalicza się w szczególności działalność związaną z wykonywaniem prac:

- 1) w zakładach górniczych, jaskiniach i innych miejscach pod powierzchnią ziemi, oraz w uzdrowiskach;
- 2) w lotnictwie, z wyłączeniem prac wykonywanych przez personel naziemny.

Narażenie ogółu ludności w wyniku stosowania promieniowania jonizującego podlega regularnej ocenie dokonywanej przez Prezesa Agencji i jest przedstawiane w corocznym sprawozdaniu, które Prezes PAA przekazuje Prezesowi Rady Ministrów.

Kierownik jednostki organizacyjnej zatrudniającej pracowników w warunkach narażenia jest **obowiązany zapewnić**:

- 1) **opiekę medyczną pracownikom oraz niezbędne środki ochrony indywidualnej i sprzęt dozymetryczny**, stosownie do warunków narażenia;
- 2) prowadzenie pomiarów **dawek indywidualnych** albo pomiarów dozymetrycznych w **środowisku pracy** oraz **rejestrowanie danych** w tym zakresie.

Przyrządy dozymetryczne stosowane do kontroli i oceny narażenia, niepodlegające obowiązkowi kontroli metrologicznej określonej w przepisach o miarach, powinny posiadać **świadcstwo wzorcowania**. Świadcstwo wzorcowania powinno wydać laboratorium pomiarowe **posiadające akredytację**.

Kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany zapewnić **pracownikom zewnętrznym ochronę radiologiczną równoważną ochronie, jaką zapewnia pracownikom zatrudnionym w jednostce organizacyjnej**.

Każdemu pracownikowi zewnętrznemu Prezes Agencji wydaje indywidualny dokument narażenia pracownika zewnętrznego (**paszport dozymetryczny**), w którym pracodawca zewnętrzny i kierownik jednostki organizacyjnej umieszczają informacje określone w Rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie ochrony przed promieniowaniem jonizującym pracowników zewnętrznych narażonych podczas pracy na terenie kontrolowanym.

Za **nadzór medyczny nad pracownikami kategorii A** odpowiedzialny jest **kierownik jednostki organizacyjnej oraz uprawniony lekarz**, któremu zapewnia się dostęp do informacji niezbędnych do wydania orzeczenia o zdolności tych pracowników do wykonywania określonej pracy, łącznie z informacją o warunkach środowiskowych w miejscu pracy.

Pracownik nie może być zatrudniony na określonym stanowisku w kategorii A jeżeli **uprawniony lekarz** wydał orzeczenie, że jest on niezdolny do wykonywania takiej pracy.

Nadzór medyczny obejmuje **wstępne badania lekarskie** pracownika przed jego zatrudnieniem dla określenia, czy pracownik może być zatrudniony w kategorii A, oraz **okresowe badania lekarskie przeprowadzane co najmniej raz w roku**, które pozwalają stwierdzić, czy pracownik może nadal wykonywać swoje obowiązki.

Dla każdego pracownika kategorii A uprawniony lekarz zakłada dokumentację medyczną, prowadzoną i aktualizowaną przez cały okres zaliczenia do tej kategorii. Dokumentacja jest **przechowywana do dnia osiągnięcia przez pracownika wieku 75 lat, jednak nie krócej niż przez 30 lat od dnia zakończenia przez niego pracy w warunkach narażenia**.

Dokumentacja medyczna obejmuje informacje o rodzaju wykonywanej pracy, wynikach badań lekarskich przeprowadzonych przed podjęciem zatrudnienia w kategorii A i o wynikach badań okresowych oraz rejestr dawek indywidualnych otrzymywanych przez pracownika.

W przypadku stwierdzonego **przekroczenia którejkolwiek z dawek granicznych, kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany skierować pracownika na badania lekarskie**. Dalsza praca w warunkach narażenia wymaga **zgody uprawnionego lekarza**.

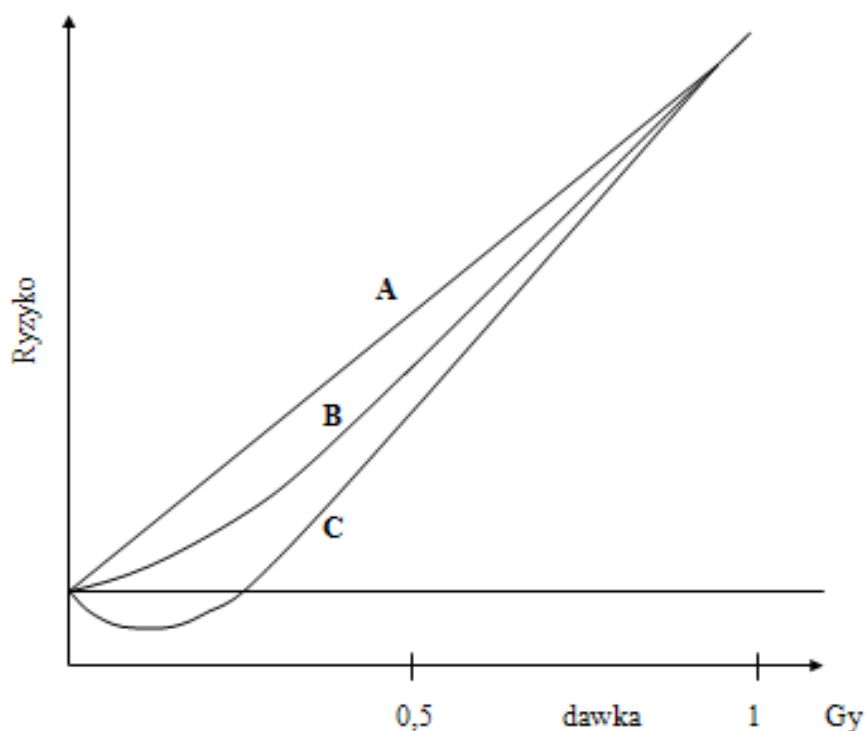
Wyżej wymienione ustalenia znajdujące się w ustawie Prawo atomowe i rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego opierają się na przyjmowanym powszechnie, w istniejących przepisach ochrony radiologicznej, założeniu hipotezy liniowej mówiącej o tym, że zależność między dawką i skutkiem jest liniowa w całym zakresie dawek, nawet w zakresie dawek bliskich zeru. Hipoteza ta zakłada, że nie istnieje żadna wartość progowa dawki promieniowania, poniżej której przestają występować efekty popromienne występujące przy dużych dawkach. Dlatego hipotezę tę nazywa się często „hipotezą bezprogową” (linear non threshold). Przyjęta przez ICRP¹⁰ hipoteza liniowa została powszechnie przyjęta ponieważ upraszczała przepisy ochrony radiologicznej przez ekstrapolację z obszaru wysokich dawek, dla którego istnieją dane epidemiologiczne, do nieznanego zakresu małych dawek, dla którego takich wiarygodnych danych nie ma. Na tej podstawie została sformułowana zasada ograniczania dawek w takim stopniu, jak tylko jest to rozsądnie możliwe. Jest to tzw. zasada ALARA („as low as reasonably achievable”).

Przyjęcie hipotezy liniowej doprowadziło do ustalenia w przepisach ochrony radiologicznej dawek granicznych na przesadnie niskich poziomach. Trzeba bowiem zdać sobie sprawę z faktu, że na kuli ziemskiej istnieją rejony o podwyższonym tle promieniowania naturalnego, na których ludzie tam mieszkający otrzymują dawki rzędu kilkaset mSv rocznie (rejony w Brazylii, Francji, Iranie, Indiach). Dawki te są kilkaset razy większe od dawki granicznej dla ludności, która jak wiadomo została ustalona na poziomie 1 mSv na rok. W rejonach tych nie notuje się większej zachorowalności w porównaniu z rejonami gdzie dawka od źródeł naturalnych jest rzędu 2-3 mSv na rok (średnia światowa).

Jest coraz więcej danych przemawiających za tym, że ekstrapolacja wg modelu liniowego jest przesadnie pesymistyczna. Zjawiska występujące w naturze mają zazwyczaj charakter nielinowy, najczęściej krzywoliniowy z występującym progiem. Hipoteza LNT nie odpowiada naturalnym zjawiskom w przyrodzie. Wiele faktów przemawia za tym, że w zakresie małych dawek ryzyko wystąpienia niekorzystnych skutków w organizmie człowieka jest mniejsze niż ryzyko wystąpienia takich skutków przy przyjęciu liniowej zależności „dawka - skutek” (patrz Rysunek 2 zależność B). Zatem bardziej wiarygodna wydaje się – w zakresie małych dawek – zależność „liniowo-kwadratowa”. W ostatnim okresie pojawiła się

¹⁰ ICRP, International Commission on Radiological Protection, Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej,

teoria **hormezy radiacyjnej**, z której wynika, że w zakresie małych dawek działanie promieniowania jonizującego jest dobroczynne dla organizmu (zależność C).



A – zależność **liniowa** „dawka - skutek” w zakresie dawek małych i pośrednich

B – zależność „**liniowo - kwadratowa**”

C – teza - lansowana przez niektórych radiobiologów - mówiąca, że małe dawki korzystnie wpływają na niektóre funkcje organizmu: tzw. **teoria hormezy radiacyjnej**

Zjawisko hormezy polega na tym, że wiele substancji i zjawisk jest korzystnych dla życia przy małych dawkach, chociaż wiemy, że są szkodliwe przy dużych. Przykładów na potwierdzenie tej tezy jest wiele – leki zażywane w odpowiedniej dawce są dobroczynne dla organizmu, a w nadmiernej szkodliwe, witaminy i mikroelementy, które spożywamy w małych ilościach są potrzebne dla życia, szkodliwe w dużych itp. Ostatnio pojawiło się wiele publikacji na temat hormezy radiacyjnej. Coraz więcej jest faktów świadczących o tym, że zjawisko takie występuje. Trzeba wziąć pod uwagę fakt, że życie na Ziemi kształtowało się w okresie gdy dawki promieniowania, które otrzymywał człowiek od źródeł naturalnych (potas K-40, uran, tor i ich pochodne zawarte w glebie, skałach, budynkach i organizmach żywych oraz promieniowanie kosmiczne) były dużo większe niż obecnie. Zatem w organizmie

człowieka musiały powstać mechanizmy obronne przystosowujące do życia w panujących wówczas warunkach. Stąd prawdopodobnie mechanizmy obronne są przystosowane do skutecznego działania w polu promieniowania o wyższym poziomie niż istniejący obecnie.

W wielu doświadczeniach wykazano, że osoby napromienione małymi dawkami nie tylko lepiej znoszą otrzymane później duże dawki promieniowania, ale powstały biologiczny mechanizm obronny zmniejsza prawdopodobieństwo zachorowania na nowotwory i powoduje, że ludzie żyją dłużej.

Komitet Naukowy ONZ do badania skutków promieniowania UNSCEAR uznał znaczenie dobroczynnej roli promieniowania jonizującego wydając specjalny raport, w którym zalecił prowadzenie dalszych badań nad zjawiskiem hormezy radiacyjnej¹¹.

Naukowe potwierdzenie i uznanie hipotezy hormezy może mieć poważne konsekwencje natury społecznej i ekonomicznej. Jak stwierdził prof. Hryniewicz w książce „Człowiek i promieniowanie jonizujące”¹², *„strategia oparta na hipotezie liniowej zależności skutków napromienienia od dawki, polegająca na zabezpieczaniu ludności przed najmniejszymi nawet dawkami i obniżaniu limitu dopuszczalnych dawek, okaże się nie tylko zbędna, ale wręcz szkodliwa. Olbrzymie nakłady finansowe związane z prowadzeniem takiej strategii będą mogły być zużyte w innych dziedzinach ochrony zdrowia społeczeństwa. Będą musiały ulec zmianie limity dawek oraz sposób szacowania skutków napromienienia. Informacje o dawkach obciążających i dawkach kolektywnych będą miały jedynie orientacyjne i porównawcze znaczenie”*.

Pomimo wielu badań świadczących o braku negatywnych skutków zdrowotnych małych dawek promieniowania jonizującego wśród dorosłych, dzieci lub potomstwa osób narażonych na promieniowanie, w powszechnie istniejących przepisach ochrony radiologicznej w dalszym ciągu przyjmowane jest pesymistyczne założenie hipotezy bezprogowej przyjmującej, że zależność między dawką i skutkiem jest liniowa w całym zakresie dawek, nawet w zakresie dawek bliskich zeru. Można mieć nadzieję, że w niedalekiej przyszłości przepisy ochrony przed promieniowaniem zostaną zrewidowane i dawki graniczne zostaną ustalone na wyższym niż obecnie poziomie.

¹¹ United Nations Scientific Committee on Effects of Ionizing Radiation Report: Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations, New York, 2000.

¹² Człowiek i promieniowanie jonizujące, Praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Z. Hryniewicza, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001

ROZDZIAŁ 6

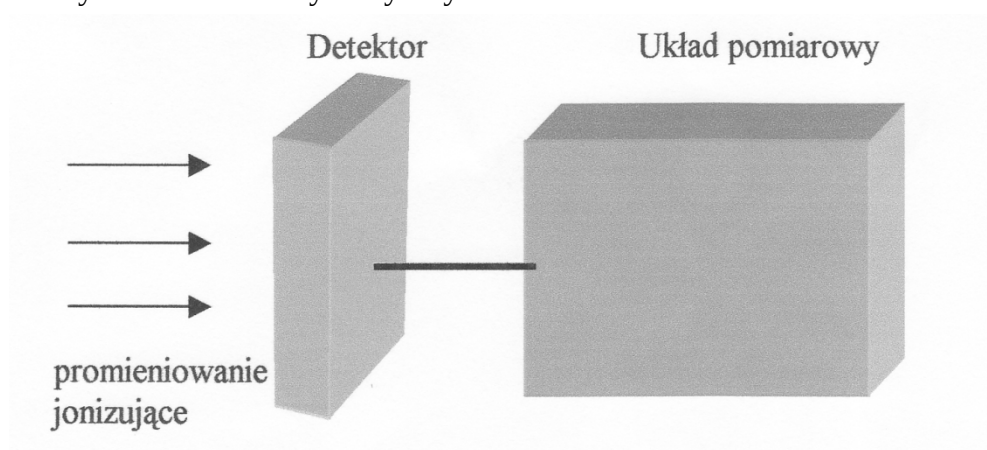
PRZYZRZĄDY DOZYMETRYCZNE

Dozymetria jest działem fizyki jądrowej obejmującym zagadnienia pomiarów i obliczeń dawek promieniowania jonizującego oraz innych wielkości związanych z oddziaływaniem promieniowania jonizującego z materią. Zależnie od rodzaju promieniowania i wielkości dawki do jej pomiaru stosuje się metody:

- termoluminescencyjne - wykorzystywanie zdolności niektórych substancji do gromadzenia i późniejszego oddawania energii promieniowania świetlnego;
- fotograficzne - pomiar zaczernienia emulsji fotograficznej;
- kalorymetryczne - bezpośredni pomiar ilości energii termicznej wydzielonej na skutek napromienienia badanej substancji;
- jonizacyjne - pomiar liczby jonów wytworzonych na skutek oddziaływania promieniowania z materią;
- rozmaite chemiczne - polegające na pomiarze szybkości reakcji chemicznych inicjowanych przez promieniowanie jonizujące.

Dozymetria zajmuje się także wyznaczaniem rozkładu przestrzennego dawki w obiekcie oraz szczegółowymi rozkładami energii i kierunku torów różnych rodzajów cząstek w obiekcie napromienianym. W celu zbadania skutków promieniowania niezbędna jest znajomość intensywności i sposobu przekazywania energii obiektowi w każdym jego punkcie.

W pomiarach dozymetrycznych wykorzystywane są różnego rodzaju urządzenia nazywane ogólnie dozymetrami. Urządzenia te działają na różnych zasadach i służą do pomiarów różnych wielkości dozymetrycznych.



Powyżej przedstawiono schematycznie najprostszy układ pomiarowy obrazujący dozymetr

Według podstawowego podziału dozymetrów, wyróżniamy wśród nich:

- Dozymetry absolutne – czyli mierniki, które mogą być skonstruowane i używane do pomiarów promieniowania bez potrzeby jakiegokolwiek kalibracji, np. w znanym polu promieniowania (są to m.in. komory jonizacyjne, kalorymetry);
- Dozymetry względne – mierniki, które wymagają kalibracji przed rozpoczęciem ich użytkowania (np. liczniki G-M, liczniki proporcjonalne, scyntylicyjne, dozymetry termo- i fotoluminescencyjne)

6.1. Detektory promieniowania jonizującego

Wprowadźmy jeszcze kilka, przydatnych w dalszej części rozdziału definicji:

- o Detekcja, to wykrywanie poszczególnych rodzajów promieniowania jonizującego o różnych właściwościach. Stwarza to konieczność stosowania różnorodnych metod pomiaru i różnych detektorów pomiarowych, a także przyrządów pomiarowych o różnych standardach odpowiadających mierzonym wielkościom i wymaganej dokładności;
- o Detektor, to przyrząd lub urządzenie do dokonywania detekcji. Jego podstawowa zasada pracy opiera się na przetwarzaniu pochłoniętej energii promieniowania jonizującego na zjawisko fizyczne, które możemy rejestrować np. impuls elektryczny, błysk świetlny, zmiana poziomów energetycznych w siatce krystalicznej itp.;
- o Spektrometr to przyrząd służący do otrzymywania i analizy widma danego rodzaju promieniowania.

Detektory promieniowania jonizującego działają na zasadzie rejestracji zjawisk, jakie powstają przy przechodzeniu mierzonych cząstek przez ośrodek czynny detektora. Ośrodkiem czynnym detektorów promieniowania jonizującego bywają zazwyczaj specjalnie dobrane gazy, ciecze bądź ciała stałe. Istnieje wiele typów detektorów promieniowania jonizującego o

różnym przeznaczeniu, dostosowanych do detekcji różnych cząstek w różnych zakresach energii.

Podstawowy podział detektorów promieniowania jonizującego rozróżnia:

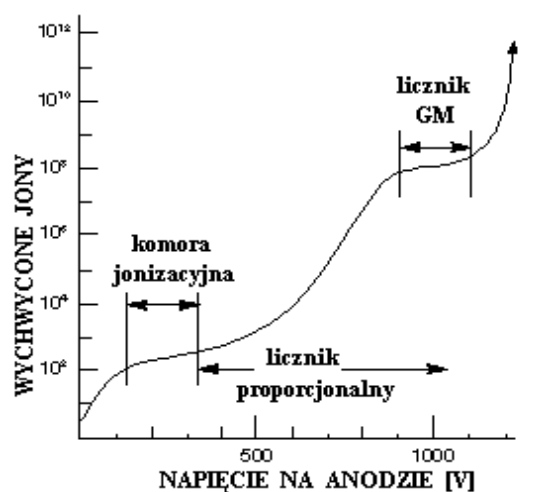
- Liczniki cząstek – są to detektory, rejestrujące jedynie fakt przejścia cząstek przez ośrodek czynny detektora. Nie są w stanie podać żadnych danych dotyczących rejestrowanych cząstek, a jedynie ich ilość.
- Detektory śladowe – są to detektory, które pozwalają na rekonstrukcję torów cząstek na podstawie śladów pozostawionych w ośrodku detektora. Pozostawionymi śladami mogą być jony lub związki chemiczne. Te ślady umieszczone w polu magnetycznym umożliwiają (poprzez pomiar krzywizny toru) wyznaczenie znaku rejestrowanego ładunku oraz pędu cząstki.
- Detektory cząstek – są to urządzenia do rejestracji cząstek elementarnych i jonów, pomiaru ich pozycji przejścia, prędkości, energii oraz do ich identyfikacji. Detektory takie są stosowane w:
 - fizyce wysokich energii;
 - fizyce jądrowej;
 - astrofizyce;
 - diagnostyce medycznej;
 - biologii;
 - energetyce jądrowej;
 - badaniach materiałowych;
 - i innych.

Detektory możemy także podzielić biorąc pod uwagę szybkość uzyskiwania informacji. Przy takim podziale rozróżniamy:

- Detektory pasywne (całkujące) – zbierające informacje o przejściu wielu cząstek (wymagają dodatkowej obróbki). Należą do nich m. in.:
 - *emulsje jądrowe* (emulsje fotograficzne) i *klisze rentgenowskie* – zmiany wywołane działaniem w nich promieniowania jonizującego uwidaczniają się w postaci wytrąconych kryształków srebra,
 - *detektory luminescencyjne* – promieniowanie pochłonięte w substancji czynnej powoduje przeniesienie elektronów w cząsteczkach do stanu metatrwałego. Pod wpływem pewnych czynników takich jak np. ogrzanie, elektrony powracają do stanu podstawowego emitując światło o natężeniu proporcjonalnym do pochłoniętej dawki promieniowania,
 - *detektory dielektryczne* – cząstka naładowana powoduje obserwowalne zmiany mechaniczne (uszkodzenia) na powierzchni dielektryka,
 - *detektory aktywacyjne* – pod wpływem promieniowania pewna liczba jąder atomów substancji czynnej ulega aktywacji (zmienia się w izotopy promieniotwórcze),
 - *detektory chemiczne* – pod wpływem promieniowania następują zmiany w składzie chemicznym substancji czynnej detektora;
- Detektory aktywne – w których informacja o przejściu cząstki pojawia się w postaci impulsu elektrycznego natychmiast. Do detektorów aktywnych zalicza się:
 - detektory gazowe;
 - detektory półprzewodnikowe;
 - licznik scyntylacyjny;
 - licznik Czerenkowa;
 - detektory promieniowania przejścia;
 - detektory kalorymetryczne (kalorymetry);
 - detektory śladowe (grupa pośrednia)

6.1.1. Detektory gazowe

W przyrządach dozymetrycznych bardzo często stosowanymi detektorami są detektory gazowe. Poniżej na wykresie została przedstawiona ilość jonów rejestrowanych przez taki detektor w zależności od napięcia zasilania przyłożonego do anody detektora gazowego.



W zależności od wielkości przyłożonego napięcia do anody, detektory gazowe mogą występować w trzech typach: komora jonizacyjna, licznik proporcjonalny oraz licznik Geigera-Müllera (licznik G-M).

Przy niskim napięciu anody, elektrony mogą łączyć się z jonami. Takie łączenie może także następować przy dużej gęstości jonów. Przy wystarczająco wysokim napięciu prawie wszystkie elektrony są wychwytywane. Detektor pracujący przy takim napięciu nosi nazwę **komory jonizacyjnej**. Przy wyższym napięciu elektrony są przyspieszane w kierunku anody do wysokich energii wystarczających do jonizacji następnych atomów, co zwiększa ilość elektronów. Detektory pracujące w tym przedziale napięć, to **liczniki proporcjonalne**. Przy dalszym zwiększaniu napięcia na anodzie, coraz bardziej zwiększa się pomnażanie elektronów, a ich ilość jest niezależna od jonizacji pierwotnej. Na takim napięciu pracuje **licznik G-M**, dla którego wielkość impulsu wyjściowego jest taka sama dla wszystkich fotonów. Dalsze zwiększanie napięcia doprowadza do ciągłego wyładowania.

Inne rodzaje detektorów gazowych (mniej popularnych), to komory wielodrutowe, komory iskrowe oraz komory dryfowe.

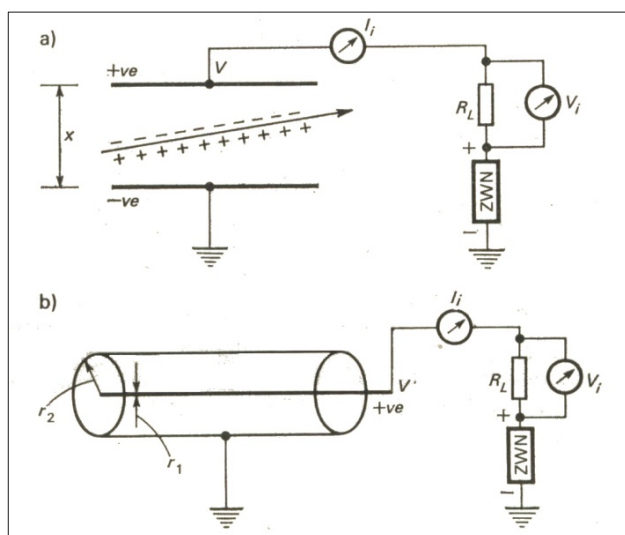
Przyjrzyjmy się teraz troszeczkę dokładniej tym trzem najpopularniejszym rodzajom detektorów gazowych.

6.1.1.1. Komora jonizacyjna

Należy do grupy liczników gazowych. Pracuje na najniższym napięciu zasilania anody ze wszystkich detektorów gazowych. Komora jonizacyjna nadaje się do pomiarów mocy dawki pochodzącej od promieniowania X oraz gamma.

W komorze jonizacyjnej pomiędzy elektrodami (zazwyczaj utworzonymi przez dwie równoległe płaszczyzny przewodnika) panuje taka różnica potencjałów, że wszystkie jony i elektrony powstałe podczas pierwotnej jonizacji wywołanej przejściem cząstki są wychwytywane, a pole elektryczne jest na tyle niskie, że nie występuje jonizacja wtórna (tzw. wzmocnienie gazowe). W tym celu bardzo często komora jonizacyjna jest wypełniana cieczą.

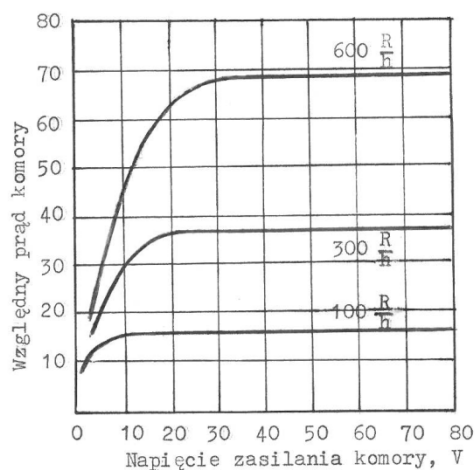
Ze względu na szczegóły konstrukcyjne sposobu rejestracji oraz budowy samej komory wyróżniamy **komory ciśnieniowe** i **zwykłe** oraz **impulsowe** i **całkujące**.



Na rysunku obok został przedstawiony schemat gazowej komory jonizacyjnej:

- o elektrodach płaskich,
- o elektrodach cylindrycznych.

Komora jonizacyjna składa się z dwóch metalowych elektrod umieszczonych na bardzo dobrych izolatorach w zamkniętej przestrzeni. Do elektrod przyłożone jest napięcie,



Charakterystyka prądowo-napięciowa komory jonizacyjnej

które wytwarza pole elektryczne powodujące przepływ prądu w wyniku zbierania jonów wytworzonych w ośrodku gazowym przy przejściu przez ten ośrodek promieniowania jonizującego. Natężenie tego prądu zależy od mocy dawki ekspozycyjnej i napięcia. Wartość prądu nasycenia pozwala na określenie mocy dawki ekspozycyjnej.

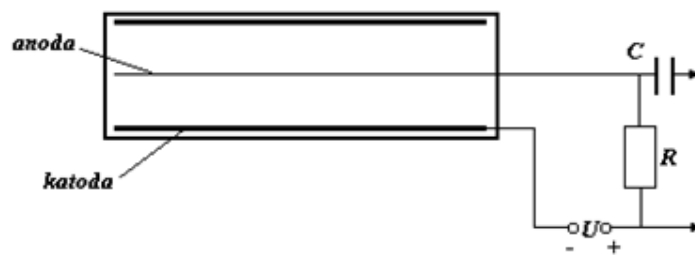
W obecnie produkowanych komorach stosuje się odpowiedni materiał na ścianki - o efektywnej liczbie atomowej równej powietrzu. Jest to masa plastyczna z domieszką grafitu, magnezu lub aluminium. Ścianki te zapewniają poprawną pracę komory jonizacyjnej niezależnie od energii bądź twardości promieniowania. Dzięki temu można dokonywać bezpośrednio pomiaru dawki pochłoniętej lub równoważnika dawki. Wnętrze komory wypełnione jest powietrzem lub innym gazem (bardzo często – argonem). Napięcie między elektrodami jest rzędu kilkuset V. Komory jonizacyjne charakteryzują się dobrą charakterystyką kątową oraz szerokim zakresem energetycznym mierzonego promieniowania rzędu 40 – 1000 keV.

Na zdjęciu została przedstawiona aparatura do pomiaru mocy dawki ekspozycyjnej (dawkomierz z ciśnieniową komorą jonizacyjną).

6.1.1.2. Licznik proporcjonalny

Licznik proporcjonalny jest to gazowy detektor promieniowania jonizującego pracujący w zakresie napięć, dla których występuje zjawisko wzmocnienia gazowego, czyli proporcjonalnego wzrostu ładunku docierającego do elektrody względem ładunku jonizacji pierwotnej. Zjawisko to występuje wokół anody wykonanej z cienkiego napiętego drutu, wokół którego wytwarzane jest silne pole elektryczne. Elektrony przyspieszane w polu elektrycznym osiągają energię wystarczającą do wywołania jonizacji wtórnej. Jeden elektron powoduje powstanie lawiny elektronów wtórnych, jonów dodatnich i pewnej liczby wzbudzonych atomów i cząsteczek. Maksymalna wartość współczynnika wzmocnienia zależy od właściwości gazu oraz od gęstości jonizacji pierwotnej, dla cząstek α jest to między 10^2 a 10^4 . W przypadku pojedynczych elektronów osiąga się wzmocnienia rzędu 10^6 .

Liczniki proporcjonalne ze względu na proporcjonalność amplitudy impulsu do energii wywołującej jonizację pierwotną, stosowane są zarówno do zliczenia liczby cząstek lub kwantów promieniowania jonizującego, jak i do określenia ich energii. Znajdują zatem zastosowanie przy pomiarach wszystkich rodzajów promieniowania jonizującego.



Budowa licznika proporcjonalnego

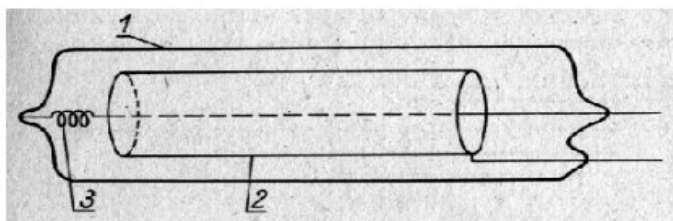
Licznik proporcjonalny zbudowany jest podobnie do komory jonizacyjnej. Różnica polega na większym napięciu międzyelektrodowym. Zwiększenie napięcia powoduje zwiększenie energii jonów i elektronów w polu elektrycznym. Przy niesprężystych zderzeniach tych cząstek z cząsteczkami gazu wytwarzają one dodatkowe jony i elektrony. Następuje tzw. jonizacja wtórna. Ta jonizacja powoduje zwiększenie liczby ładunków docierających do elektrod. Stosunek ładunku zebranego na elektrodach do ładunku powstałego w wyniku działania promieniowania, nazywa się współczynnikiem wzmocnienia gazowego. Liczniki proporcjonalne używane są zarówno do zliczania liczby cząstek, lub kwantów promieniowania, jak i do określania ich energii. Znajdują zastosowanie do pomiarów promieniowania α , β , γ oraz rentgenowskiego jak i pomiarów neutronów prędkich i neutronów termicznych.

Ponieważ dla uzyskania wtórnej jonizacji i wzmocnienia gazowego elektron musi być przyspieszony do dużych prędkości na małej stosunkowo drodze, istnieje pewne krytyczne natężenie pola elektrycznego w liczniku, poniżej którego wtórna jonizacja nie następuje. Przykładowo dla argonu to krytyczne natężenie pola jest rzędu 10 kV/cm. Najłatwiej tak duże natężenie pola można uzyskać dla cylindrycznej konfiguracji elektrod w pobliżu centralnej elektrody dodatniej mającej postać cienkiego drucika. W małym obszarze o promieniu rzędu ułamka milimetra natężenie pola przekracza wartość krytyczną i elektrony uzyskują dostateczne prędkości do wywołania jonizacji wtórnej. Impuls powstaje na skutek ruchów jonów dodatnich w obszarze dużego spadku napięcia, a zatem znowu w niewielkim obszarze w pobliżu anody, dzięki czemu czas potrzebny do tego aby impuls osiągnął znaczną część swojej pełnej wysokości nie jest duży, rzędu kilku us. Ponieważ impuls powstaje na skutek ruchu ładunku w małym obszarze tylko w pobliżu anody, wysokość jego nie zależy od miejsca w którym powstała jonizacja pierwotna.

6.1.1.3. Licznik Geigera-Müllera

Liczniki Geigera-Müllera (liczniki G-M) używane są do pomiarów mocy dawki przede wszystkim dla źródeł promieniowania gamma oraz X (ale mogą być stosowane i do innych rodzajów

Nie należy ich
pomiarów w



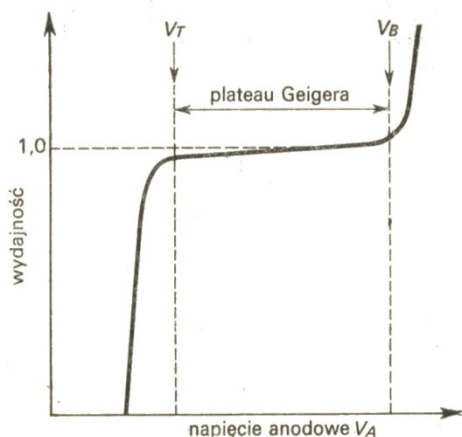
promieniowania).
stosować do
aparaturze
rentgenowskiej.

Mogą one być stosowane do pomiarów mocy dawek do źródeł o znanym widmie.

Schemat licznika G-M: 1-obudowa, 2-cylindryczna
katoda, 3-anoda

Licznik G-M należy do grupy liczników gazowych. Jego zasadniczymi częściami są: cylindryczna katoda i przeciągnięta wzdłuż jej osi metalowa nić (o średnicy 0,075 lub 0,1mm zwykle wykonana z wolframu), stanowiąca anodę. Elektrody te są umieszczone w hermeticznie zamkniętym naczyniu, wypełnionym gazem (Ar, Ne, H) pod ciśnieniem ok. 133-265 hPa. Takie kształty elektrod pozwalają uzyskać między nimi silnie niejednorodne pole elektryczne z największym natężeniem przy anodzie.

Liczniki Geigera- Müllera wykorzystują zjawisko jonizacji wtórnej. Przechodząc przez komorę promieniowanie jonizujące wybija elektrony ze ścianek komory oraz powoduje jonizację znajdującego się wewnątrz komory gazu. Dla promieniowania X i γ większy wpływ ma efekt ściankowy niż bezpośrednia jonizacja gazu przez mierzone promieniowanie.

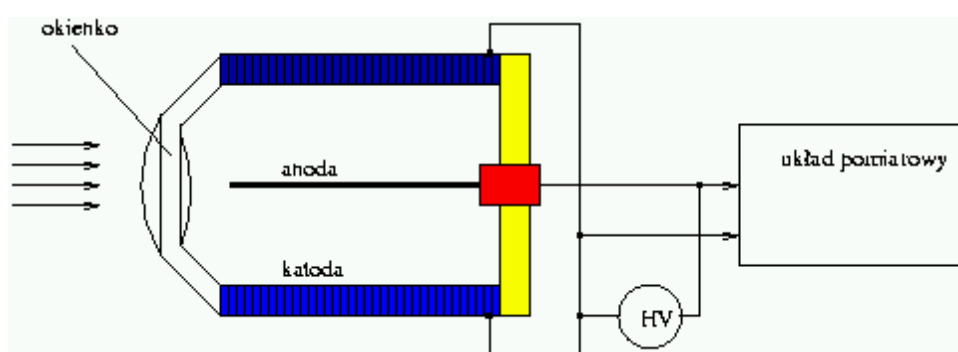


Uwolniony elektron pod wpływem pola elektrostatycznego między elektrodami zostaje przyspieszony w kierunku anody. Przyspieszając elektron taki powoduje uwolnienie innych

elektronów z cząsteczek gazu, które wybijają inne. W wyniku tego elektron powoduje powstanie całej lawiny elektronów i jonów dających w efekcie impuls elektryczny. Aby umożliwić pomiary następnych kwantów lub cząstek promieniowania stosuje się odpowiednią mieszaninę gazów wewnątrz ośrodka, bądź też obniżanie napięcia na elektrodach. Liczniki Geigera-Mullera da się podzielić na liczniki o budowie okienkowej i cylindrycznej.

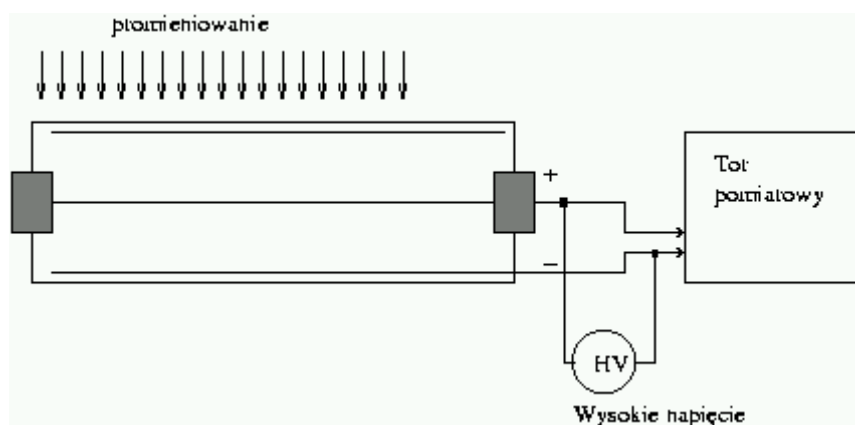
Powyżej na wykresie pokazano zakres pracy licznika Geigera- Müllera

(V_T – napięcie progowe; V_B – napięcie przebicia)



Licznik G-M o budowie okienkowej

Liczniki okienkowe stosuje się do pomiarów promieniowania o niewielkiej przenikliwości - alfa, miękkiego beta i bardzo miękkiego X. Okienka wykonywane są w zależności od stosowanego promieniowania (mika, szkło, folia aluminiowa).



Licznik G-M o budowie cylindrycznej

Liczniki cylindryczne zbudowane są z rurki szklanej lub metalowej, z wewnętrzną cylindryczną anodą.

Licznik Geigera-Müllera pracuje w zakresie napięcia wyładowania koronowego.

Po pojawieniu się elektronu wewnątrz licznika inicjowane jest wyładowanie koronowe – ilość wytworzonych w nim swobodnych elektronów zależy wyłącznie od parametrów detektora (a nie zależy od energii jonizującej cząstki). Rozróżniamy:

- *liczniki samogasnące* – wyładowanie jest „gaszone” dzięki domieszkom wieloatomowych cząstek organicznych (np. alkoholu);
- *liczniki niesamogasnące* – wyładowanie jest „gaszone” poprzez obniżenie napięcia.

Ze względu na brak informacji o energii rejestrowanych cząstek, a także swoją prostotę i taniość, liczniki GM stosuje się tylko w prostych układach detekcyjnych. Odznaczają się one dużą czułością. Podział liczników ze względu na rodzaj rejestrowanego promieniowania:

- *liczniki okienkowe* – do promieniowania alfa i beta;
- *liczniki cienkościenne* – do promieniowania beta i gamma;
- *liczniki grubościennne* – tylko promieniowanie gamma.

Nazwa licznika pochodzi od nazwisk niemieckich fizyków, którzy w roku 1928 skonstruowali pierwszy licznik tego typu: Hansa Geigera i Walthera Müllera.

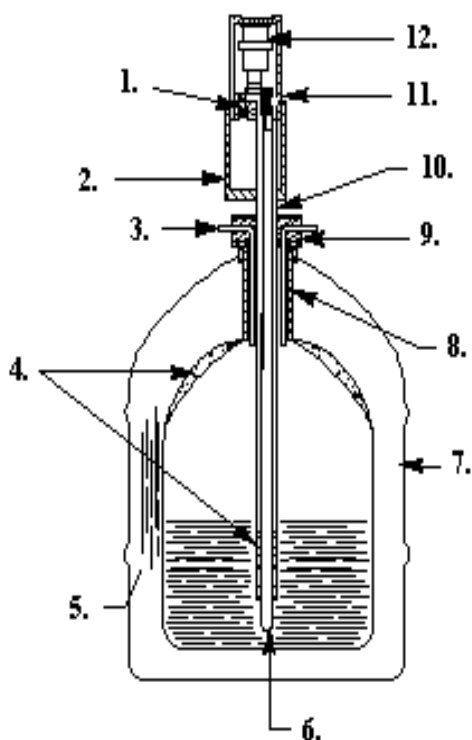
6.1.2. Detektory półprzewodnikowe

Półprzewodniki są to substancje zachowujące się w pewnych warunkach jak dielektryki (izolatory), a w innych jak przewodniki. Typowymi półprzewodnikami są: krzem,

german, arsenek galu lub antymonek galu. Półprzewodniki mają małą szerokość pasma wzbronionego.

Ze względu na typ przewodnictwa wyróżnia się półprzewodniki:

- **typu „n”**, inaczej nadmiarowe – występuje tutaj przewodnictwo elektronowe (liczba elektronów w paśmie przewodnictwa przekracza liczbę dziur przewodzących w paśmie walencyjnym). Uzyskuje się je przez domieszkowanie krzemu lub germanu pierwiastkami V grupy nazywanych donorami;
- **typu „p”**, inaczej niedomiarowe – występuje w nich przewodnictwo dziurowe w paśmie walencyjnym (liczba dziur jest większa od liczby elektronów w paśmie przewodnictwa). Otrzymywane przez domieszkowanie półprzewodników pierwiastkami III grupy (akceptorami).



Budowa detektora półprzewodnikowego:

1. przejścia dla kabli elektrycznych;
2. obudowa przedwzmacniacza;
3. rurki do napełniania ciekłym azotem i do odprowadzania gazów;
4. sita molekularne;
5. superizolatory;
6. przewodząca końcówka detektora (coldfinger);
7. dewar;
8. szyjka detektora;
9. kołnierz do napełniania ciekłym azotem;
10. przewężenie izolacyjne;
11. obudowa detektora;
12. uchwyt detektora.

Podstawowym elementem detektora półprzewodnikowego jest złącze „p-n” spolaryzowane w kierunku zaporowym. Podstawą działania są tutaj procesy jonizacji wywołane przez cząstki naładowane w warstwie styku materiałów o przewodnictwie typu n (elektronowym) i typu p (dziurowym). Swobodne nośniki prądu elektrycznego generowane w obszarze czynnym detektora (kryształ półprzewodnika) są zbierane na elektrodach. Powstający krótkotrwały impuls prądu (rzędu kilkudziesięciu ns) jest następnie wzmacniany i rejestrowany. Impuls ten związany jest zarówno z ruchem elektronów w paśmie przewodnictwa jak i przemieszczaniem się dziur (pozostawionych przez elektrony) w paśmie walencyjnym, co jest równoważne ruchowi ładunku dodatniego. Detektor półprzewodnikowy jest w zasadzie diodą półprzewodnikową ze złączem zaporowym typu p-n (n-p), położonym tuż przy powierzchni.



Detektory półprzewodnikowe działają w oparciu o kilka różnych zjawisk. Mogą generować błyski (są wtedy detektorami scyntylacyjnymi), reagować na promieniowanie jonizujące zmianą oporności, lub poprzez powstanie ładunku elektrycznego. Detektory półprzewodnikowe charakteryzują się wysoką sprawnością, niskimi szumami, dużą rozdzielczością energetyczną. Są one najlepszymi detektorami do analiz jakościowo - ilościowych. Wadą niektórych typów detektorów półprzewodnikowych, jest konieczność zapewnienia im odpowiednich warunków pracy - np. bardzo niskiej temperatury.

Na zdjęciu obok – detektor HPGe w pomiarowym domku osłonnym (CLOR)

Aby detektor półprzewodnikowy mógł dobrze spełniać swoje zadanie, warstwa czuła musi być wytworzona bezpośrednio w pobliżu powierzchni detektora, tak aby cząstka w niej

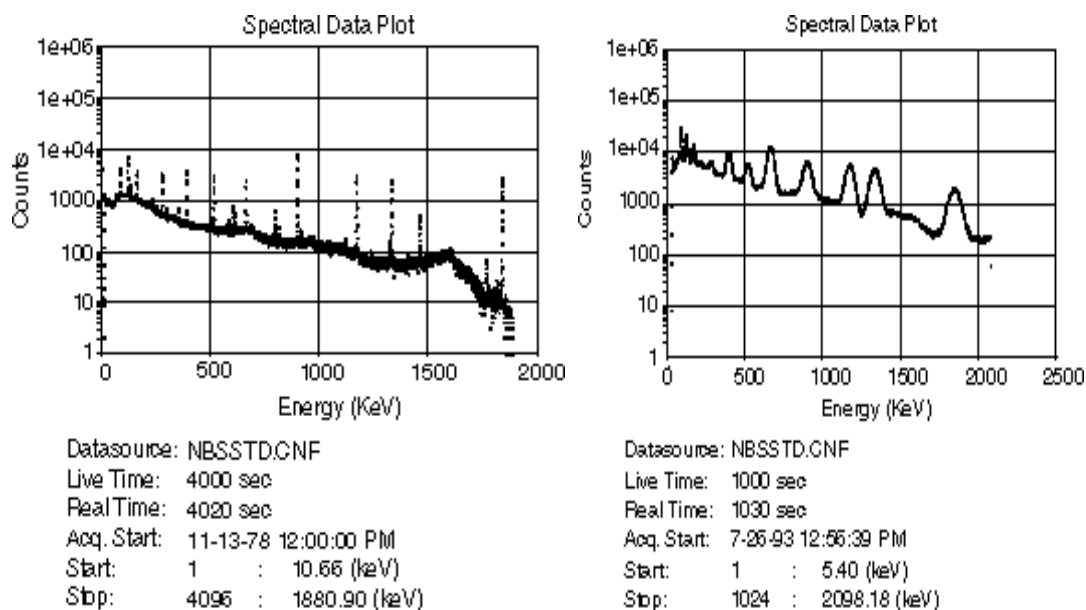
właśnie traciła swoją energię. Uzyskać to można w różny sposób i odpowiednio do tego rozróżniamy trzy typy detektorów półprzewodnikowych:

- detektory z barierą powierzchniową;
- detektory typu dyfuzyjnego;
- detektory dryfowe - najlepiej nadają się do detekcji promieniowania gamma – metoda zaproponowana przez Pella w 1960 roku, polega na kompensowaniu zanieczyszczeń określonego typu przez wprowadzone do pewnej objętości półprzewodnika atomów kompensujących.

Detektory dryfowe - Najczęściej stosowana metoda polega na wdryfowaniu przyłożonym napięciem elektrycznym donorów jonów litu do krzemu lub germanu typu p posiadających zanieczyszczenia akceptorowe. Technicznie proces ten przeprowadza się w ten sposób, że najpierw na oczyszczoną powierzchnię półprzewodnika typu p napyla się warstwę litu, a następnie w podwyższonej temperaturze rzędu 400-500°C wdyfundowuje się ten lit na głębokość rzędu kilkuset mm, otrzymując normalne złącze typu n-p. Jeśli następnie w temperaturze 130-150°C przyłożymy do tego złącza napięcie rzędu kilkuset Voltów tak skierowane, aby od strony litu potencjał był dodatni to uzyskamy w ciągu kilku do kilkudziesięciu godzin wnikanie do półprzewodnika typu p i całkowitą kompensację nośników nawet do bardzo dużej głębokości.

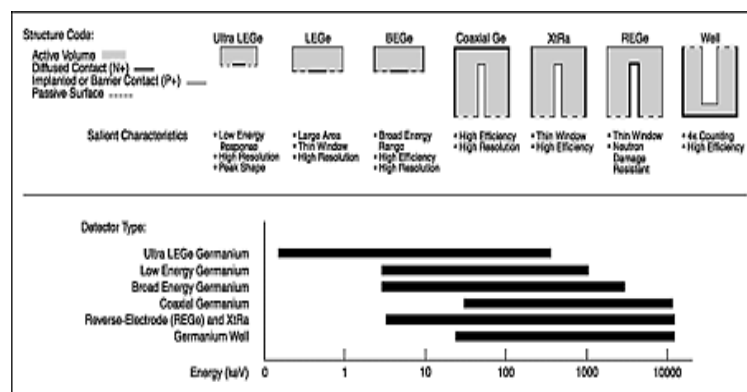
Zalety detektora półprzewodnikowego:

- *duża energetyczna zdolność rozdzielcza* – energia na wytworzenie jednej pary elektron-dziura dla germanu jest równa 2.9eV (około 10 razy mniej niż dla pary jonów w gazie wypełniającym komorę jonizacyjną);
- *liniowa i niezależna od wartości energii i rodzaju cząstki zależność amplitudy impulsu od energii;*
- *dobra czasowa zdolność rozdzielcza;*
- *zwiększona czułość na promieniowanie gamma* półprzewodnikowych detektorów germanowych;
- *małe rozmiary.*



Porównanie rozdzielczości widma otrzymanego z detektora półprzewodnikowego (lewy rysunek) z widmem o trzymanym z sondy scyntylacyjnej (na rysunku prawym)

Na rysunku poniżej przedstawione zostały różne typy detektorów półprzewodnikowych (w zależności od budowy i sposobu umieszczenia warstwy czynnej w obudowie detektora) wraz z mierzonymi zakresami energetycznymi:

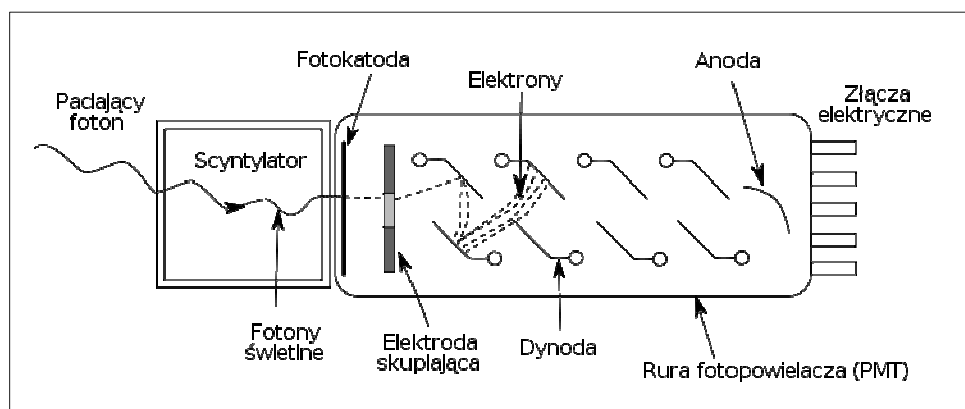


6.1.3. Detektory scyntylacyjne

Na początek zacznijmy od dwóch dość ważnych definicji:

- **SCYNTYLACJA** – jest to krótkotrwały błysk światła powstający w niektórych substancjach (scyntylatorach) na skutek zjawiska luminescencji, która ma miejsce przy przechodzeniu przez te substancje cząstek promieniowania przenikliwego. Czas trwania tego zjawiska wynosi od 10^{-9} do 10^{-4} sekundy.
- **SCYNTYLATORY** – są to ciekłe lub stałe substancje, w których obserwuje się powstawanie scyntylacji. Najczęściej stosowane scyntylatory to: kryształy ZnS, NaI, tworzywa sztuczne (np. polistyren lub metakrylen winylu z domieszką związków fosforowych) oraz substancje organiczne stałe (antracen, stilben, naftalen, p-Terfenyl) względnie ciekłe (związki aromatyczne z grupy oksazolin), rozpuszczone w ksylenie lub toluenie, wreszcie niektóre szkła. Scyntylatory wykorzystuje się w licznikach scyntylacyjnych, spektrometrach gamma, spektrometrach ciepłoscyntylacyjnych.

Detektory scyntylacyjne zamieniają energię promieniowania jonizującego na energię błysków świetlnych (scyntylacje). Materiał taki (np. powszechnie stosowany NaI - kryształ jodku sodu) najczęściej współpracuje z fotopowielaczem, który zamienia energię błysków na sygnał elektryczny. Oprócz jodku sodu, stosuje się również inne materiały - zarówno stałe, jak ciecze i gazy. Detektory takie stosuje się do detekcji promieniowania alfa, beta lub gamma.



Zasada działania licznika scyntylacyjnego

Licznik scyntylacyjny jest to rodzaj detektora promieniowania jonizującego, w którym ośrodkiem czynnym jest scyntylator. Akt oddziaływania cząsteczki lub kwantu

promieniowania jądrowego, będący warunkiem detekcji promieniowania, następuje w scyntylatorze. Zachodzi w nim przetwarzanie części energii promieniowania na energię świetlną. Wiązka kwantów świetlnych prowadzona światłowodem dociera do fotokatody fotopowielacza, i zostaje zaabsorbowana w materiale fotokatody, wybijając z niej fotoelektrony. Fotoelektrony kierowane są na pierwszą dynodę fotopowielacza i wyzwalają z niej elektrony emisji wtórnej. Kolejne dynody dołączone są do coraz wyższego potencjału, toteż elektrony ulegają przyspieszeniu w polu elektrycznym. Obecnie detektory scyntylacyjne są budowane w postaci sond składających się:

- kryształu scyntylacyjnego,
- fotokatody,
- fotopowielacza,
- przedwzmacniacza wraz z dyskryminatorem.

Najczęściej wykorzystywanymi kryształami do tych detektorów jest NaI(Tl) (jodek sodu aktywowany talem), natomiast najstarszym znanym scyntylatorem jest ZnS (siarczek cynku), który w początkowym okresie służył również do pokrywania ekranów lamp kineskopowych. Ze względu na znaczne wzmocnienie sygnału, pewność działania (w tym odporność na wysokie temperatury nawet do 120 °C) wykorzystywane są często w badaniach wykorzystujących techniki jądrowe (np. geofizyka, badanie procesów przemysłowych metodami izotopowymi).

W uproszczeniu zasadę działania takiego licznika można przedstawić w punktach:

1. Absorpcja promieniowania jądrowego w scyntylatorze powoduje wzbudzenie i jonizację
2. Przetwarzanie energii rozproszonej w scyntylatorze na energię świetlną, dzięki procesowi luminescencji.
3. Przejście fotonów świetlnych do fotokatody powielacza fotoelektronowego
4. Absorpcja fotonów światła na powierzchni fotokatody i emisja fotoelektronów
5. Proces zwielokrotnienia liczby elektronów we wnętrzu powielacza
6. Analiza impulsu prądowego dostarczonego przez powielacz dokonująca się w dalszych stopniach układu elektronicznego.

Zalety detektorów scyntylacyjnych:

- bardzo krótkie czasy reakcji,
- duża wydajność (stosunek liczby zarejestrowanych fotonów do wszystkich przechodzących przez detektor),
- relatywnie niskie koszty.

Podstawową wadą natomiast słaba zdolność rozdzielcza (zazwyczaj definiowana jako stosunek szerokości linii widmowej w połowie wysokości linii do położenia jej centrum), średnio wynosząca 10%.

Przy wykorzystywaniu sond scyntylacyjnych należy zwrócić uwagę również na temperaturę pracy, gdyż widmo licznika przesuwają się (pływa) oraz na starzenie się kryształów związane głównie z uszkodzeniami radiacyjnymi.

Rozwój detektorów scyntylacyjnych został zapoczątkowany w 1947 r. przez Coltmanna i Marshalla.

6.2. Przykładowe przyrządy dozymetryczne

W tym rozdziale przyjrzymy się kilku najczęściej używanym przyrządom dozymetrycznym. Podamy ich zastosowanie i podstawowe parametry techniczne.

6.2.1. Radiometr RKP-2



RADIOMETR RKP-2 (produkcyjny POLON-ALFA SP. Z O.O. W BYDGOSZCZY) służy do pomiaru skażeń substancjami alfa-promieniotwórczymi, beta promienio-twórczymi oraz mocy przestrzennego równoważnika dawki promieniowania X i gamma.

Prosta i trwała obudowa, mała masa i łatwa obsługa umożliwia szerokie stosowanie przyrządu do wykrywania źródeł promieniowania, oceny poziomu skażeń oraz jako przyrząd pomiarowy wszędzie tam, gdzie stosuje się źródła promieniowania. Radiometr RKP-2 jest szczególnie przydatny do stosowania:

- w kontroli granicznej i celnej oraz w służbach ratownictwa technicznego;
- do kontroli szczelności źródeł w izotopowych czujkach dymu;
- w inspektoratach sanitarno-epidemiologicznych;
- do kontroli skażeń rąk, odzieży roboczej, powierzchni stołów roboczych w pracowniach radiobiologicznych oraz w pracowniach medycyny nuklearnej;
- do kontroli skażeń i pomiaru mocy dawki w transporcie kolejowym i drogowym;
- przez inspektorów ochrony radiologicznej.

Radiometr RKP-2 posiada wbudowane trzy liczniki G-M typu BOI-63 (STS-6) i jest produkowany w dwu wersjach:

- do pomiaru promieniowania β i γ ;
- do pomiaru skażeń substancjami emitującymi promieniowanie α , β i γ .

Przyrząd jest wyposażony w złącze i źródło wysokiego napięcia, które umożliwia podłączenie sondy scyntylacyjnej SSA-1P (opisana poniżej) do pomiaru skażeń powierzchni substancjami emitującymi promieniowanie α . Wiarygodne wyniki pomiarów skażeń powierzchni substancjami emitującymi promieniowanie α jest możliwe jedynie wówczas, gdy producent radiometru RKP-2 przeprowadzi jego wzorcowanie z konkretnym egzemplarzem sondy SSA-1P.

Dane techniczne

- Zakres pomiaru:

– skażenia substancjami alfa-promieniotwórczymi: $0,02 - 1.999,9 \text{ s}^{-1}$

- skażenia substancjami beta-promieniotwórczymi: 0,02 - 1.999,9 s⁻¹
 - moc przestrzennego równoważnika dawki promieniowania X i gamma: 0,02-1.999 mSv/h
- Minimalna wykrywalna aktywność powierzchniowa:
 - radioizotop ³⁶Cl (0,709 MeV) 0,54 Bq cm⁻²
 - radioizotop ²⁰⁴Tl (0,763 MeV) 0,30 Bq cm⁻²
 - radioizotop ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y (0,546 MeV + 2,274MeV) 0,10 Bq cm⁻²
- Bieg własny przyrządu:
 - przy pomiarze promieniowania α ≤ 0,05 s⁻¹
 - przy pomiarze promieniowania β ≤ 0,23 s⁻¹
 - przy pomiarze promieniowania γ ≤ 0,23 s⁻¹
- Podstawowy błąd pomiaru ± 20% ,
- Czas odpowiedzi: 8 s
- Nierównomierność charakterystyki energetycznej w zakresie energii od 65 keV do 1,25 MeV ≤ 25%
- Gęstość powierzchniowa okna ok. 63 mg/cm²
- Zasilanie (9V) bateria 6F22 lub 6LR61
- Czas pracy z jedną baterią nie mniej niż:
 - przy promieniowaniu na poziomie tła naturalnego: 1500 h
 - z sondą SSA-1P 150 h
- Zakres temperatur pracy: -10 do +40 °C
- Masa 1,1 kg ,
- Wymiary: 237 x 114 x 122 mm

6.2.1.1. Sonda SSA-1P



Sonda scyntylacyjna SSA-1P (przedstawiona na zdjęciu obok) jest przeznaczona do pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa promieniotwórczymi. Jest ona przystosowana do współpracy ze wszystkimi radiometrami produkcji Zakładu

Urządzeń Dozymetrycznych w Bydgoszczy (np. RUST-3, URS-3, RKP-2 oraz RUM-1).

Prosta i trwała obudowa, mała masa i łatwa obsługa umożliwiają szerokie stosowanie sondy przy wykrywaniu i pomiarze skażeń powierzchni, wszędzie tam gdzie stosuje się źródła promieniowania alfa. Jest ona szczególnie przydatna do:

- kontroli szczelności źródeł (np. w jonizacyjnych czujkach dymu);
- kontroli skażeń rąk, odzieży roboczej, powierzchni stołów roboczych w pracowniach radioizotopowych;
- przez inspektorów ochrony radiologicznej.

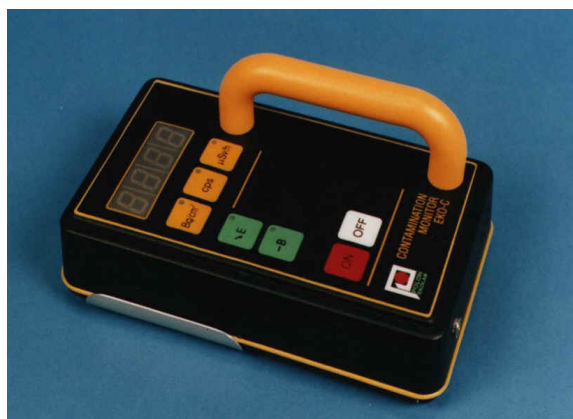
Sonda SSA-1P stanowi element zunifikowanego szeregu sond o średnicy 65 mm. Zawiera ona fotopowielacz o średnicy 2 cali oraz scyntylator. Stożkowy światłowód powietrzny, pokryty białą powłoką rozpraszającą, zapewnia dobre zbieranie impulsów światła emitowanych przez scyntylator. Zasilanie sondy wysokim napięciem i odprowadzanie sygnału użytkowego dokonywane jest za pomocą jednego przewodu współosiowego poprzez złącze BNC-2,5.

Dane techniczne

Scyntylator	ZnS/Ag na podłożu ze szkła organicznego Φ 125 x 4 mm, folia światłoszczelna ok. 1 mg/cm ²
Powierzchnia czynna	85 cm ²
Bieg własny	$\leq 0,033$ imp./s
Impuls wyjściowy sondy:	
• amplituda	≥ 50 mV
• czas trwania	≤ 120 μ s (mierzony w połowie amplitudy)

• czas narastania	$\leq 0,2 \mu s$
Wydajność	$\geq 25 \%$
Czułość	$\leq 21 (\text{imp} \times s^{-1}/\text{Bq} \times \text{cm}^{-2})$
Nierównomierność rozkładu wydajności	$\leq 10\%$ (względem środka)
Światłoszczelność: Natężenie oświetlenia 500 lux nie powoduje wzrostu biegu własnego	
Napięcie zasilania 750 - 1400 V, polaryzacja dodatnia, podawane przez złącze wspólnosiowe	
	BNC-2,5
Pobór prądu	35 μA (przy 1500 V)
Zakres temperatur pracy	-10 do +40 °C
Masa	ok. 1,2 kg
Wymiary gabarytowe sondy	Ø140/ Ø 66 x 320

6.2.2. Monitor skażeń radioaktywnych EKO-C



Monitor Skażeń Radioaktywnych typ EKO-C, przeznaczony jest do wykrywania i pomiaru promieniowania jonizującego pochodzącego od skażeń radioaktywnych izotopami alfa i beta oraz od źródeł promieniowania X i gamma.

Monitor Skażeń Radioaktywnych typ EKO-C/s jest rozszerzoną wersją monitora EKO-C z dodatkowym wyjściem do podłączenia sondy scyntylacyjnej SSA-1p. Sonda SSA-1p. zwiększa ok.10x czułość pomiaru promieniowania jonizującego alfa w stosunku do monitora EKO-C.

Monitor wskazuje dane pomiarowe w trzech odrębnych jednostkach:

- Bq/cm², skażenie powierzchni radioaktywnymi izotopami alfa
- cps, skażenie radioaktywnymi izotopami beta
- $\mu\text{Sv/h}$, przestrzenny równoważnik mocy dawki promieniowania X i gamma.

Główne zastosowania miernika EKO-C (lub EKO-C/s), to:

- wykrywanie i pomiar skażeń powierzchniowych nuklidami alfa, beta lub gamma promieniotwórczymi w laboratoriach izotopowych.
- wykrywanie źródeł radioaktywnych na przejściach granicznych.
- kontrolowanie terenu po awariach jądrowych, pożarach i katastrofach transportowych.
- kontrola osłon przed promieniowaniem rentgenowskim X i gamma w medycynie i przy defektoskopii izotopowej.
- kontrola powierzchniowych skażeń radioaktywnych.

Dane techniczne

- O detektor: okienkowy licznik Geigera -Müllera.
- O zakresy pomiarowe:
 - moc dawki: 0.01 do 1000 $\mu\text{Sv/h}$
 - skażenie powierzchni: 0.1 do 10000 Bq/cm^2
 - częstość impulsów: 0.1 do 10000 cps.
- O zakres energetyczny pomiaru:
 - dla X i gamma: od 50 keV do 1.5 MeV, $\pm 30\%$
(w odniesieniu do Cs-137)
 - promieniowanie beta: powyżej 100keV
 - promieniowanie alfa: powyżej 4 MeV.
- O podstawowy błąd pomiaru:
 - promieniowania X i gamma: nie większy niż $\pm 15\%$
(w odniesieniu do Cs-137)
 - promieniowania alfa i beta:

< $\pm 50\%$ (dla izotopów wymienionych w Karcie Badania)
- O zasilanie monitora: bateria akumulatorów NiMH 4x1.2V, 2Ah.

- o czas pracy ciągłej: nie mniej niż 40 godz.
- o warunki klimatyczne:
 - temperatura -10°C do +40°C
 - wilgotność względna do 80% przy 30°C
- o wymiary: 100mm x 170mm x 85mm (z uchwytem).
- o masa: ok.500g.

Dodatkowe funkcje:

- ułatwiająca wykrywanie i lokalizację źródła radioaktywnego.
- odejmowania tła naturalnego promieniowania jonizującego.
- uśredniania wyniku pomiaru.
- współpraca z komputerem PC - przesyłanie wyników pomiaru.
- zbierania wyników pomiaru w pamięci przyrządu (opcja)
- sygnalizujące
 - przekroczenie zakresu pomiarowego,
 - ustawionego progu alarmu,
 - podwyższonego poziomu promieniowania,
 - niskie napięcie zasilania,
 - zakończenie czasu ładowania akumulatorów.

6.2.3. Radiometr RUM-2



Radiometr RUM-2 jest uniwersalnym urządzeniem pomiarowym umożliwiającym podłączenie do komputera i zbieranie danych z różnych sond radiometrycznych produkcji Polon-Alfa oraz innych źródeł sygnałów impulsowych. Zakres zastosowań obejmuje analizę ilościową częstości impulsów, analizę spektrometryczną rozkładu statystycznego wysokości impulsów, analizę czasową zdarzeń, sterowanie urządzeniami zewnętrznymi lub pomiary sterowane urządzeniami zewnętrznymi.

Przyrząd umożliwia współpracę z większością sond produkowanych dotychczas przez POLON-ALFA, w tym najbardziej popularnych SSU-3-2, SSU-70, SSA-1P, SPNT3 i rodziną sond licznikowych SGB. Dzięki bogatemu zestawowi wejść i wyjść możliwe jest też podłączenie innych źródeł sygnału.

Radiometr nie posiada własnego wyświetlacza oraz żadnych elementów manipulacyjnych - całość sterowania odbywa się z komputera typu PC. Oprogramowanie komputerowe jest integralną częścią radiometru jest i jest ono niezbędne do pracy z radiometrem.

Radiometr dostępny jest w trzech wykonaniach:

- z przyłączeniem do komputera przez interfejs RS-232 – przeznaczone jest do szerokiej gamy zastosowań laboratoryjnych i przemysłowych, w których oczekiwana jest odległość między komputerem a przyrządem pomiarowym do około 12-tu metrów, przy czym w otoczeniu obecna jest niezbyt duża ilość zakłóceń mogących blokować transmisję danych;
- z przyłączeniem do komputera przez interfejs RS-422 – przeznaczone jest z kolei do zastosowań głównie przemysłowych, gdzie oczekiwane odległości są dużo większe (do około 100 m a nawet więcej) i jest dużo większy poziom zakłóceń elektrycznych. Dzięki zastosowaniu prostego przyłączenia, jakim jest port szeregowy, podłączenie radiometru do innych, specjalistycznych urządzeń programowanych użytkownika jest stosunkowo proste, a znaczna odległość między stanowiskiem operatora a przyrządem pozwala na zachowanie dobrych warunków bezpieczeństwa przy pracy z materiałami radioaktywnymi;

- z przyłączeniem do komputera przez interfejs USB – jest ono wygodne przy współpracy z komputerami przenośnymi klasy PC. Jest ono stosowane, jeżeli nie ma konieczności stosowania długich przewodów.

Wszystkie wykonania mają dokładnie te same parametry techniczne i pomiarowe oraz posługują się tym samym protokołem transmisji.

Dane techniczne

- | | |
|---|---|
| • Ilość kanałów | 4096 |
| • Nominalna szerokość kanału | 366 μ V |
| • Max częstość zliczeń z analizą amplitudy imp. | ≥ 25000 imp/s |
| • Max częstość zliczeń bez analizy amplitud | ≥ 200000 imp/s |
| • Wyjście do komputera | interfejs RS-232, RS-422, USB 1.1 |
| • Odporność na upadki: | 10 cm na narożnik bez opakowania
1 m na beton w opakowaniu transportowym |
| • Zasilanie poprzez dedykowany zasilacz z sieci 230 V | |
| • Wbudowany zasilacz wys. napięcia | nap. wyjściowe od +300 do +1500 V |
| • Wbudowany zasilacz niskiego napięcia | nap. wyjściowe 24 V $\pm$ 5% |
| • Zakres temperatur pracy | od -10 °C do +40 °C |
| • Masa | 0,9 kg |
| • Wymiary | 136 x 126 x 140 mm |
| • Szczelność obudowy | IP 40 |

6.2.4. Radiometr uniwersalny RUST-3



promieniowania.

Radiometr uniwersalny typu RUST-3 może współpracować z wieloma sondami pomiarowymi (m.in. SSU-3-2, SSU-70, SSA-1P, SPNT3 i rodziną sond licznikowych SGB). Dzięki temu ma wiele zastosowań przy pomiarach

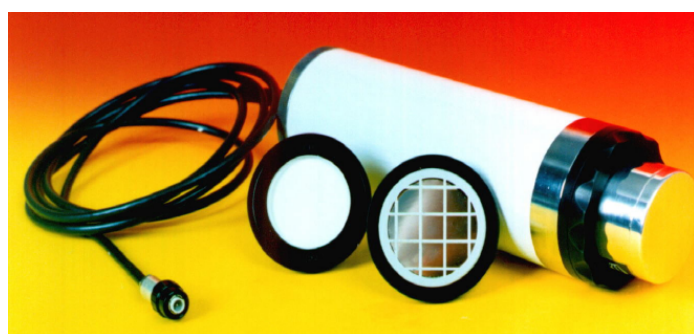
Do całej gamy jego zastosowań można zaliczyć:

- sygnalizacja i pomiar przekroczenia mocy dawki;
- sygnalizacja i pomiar równoważnika mocy dawki pochodzącej od neutronów (w zakresie energetycznym $0,01 - 10^7$ eV);
- pomiar aktywności próbek alfa, beta i gamma promieniotwórczych;
- pomiar skażeń powierzchni i cieczy.

W związku ze swoimi możliwościami pomiarowymi znalazł on zastosowanie:

- pracowniach radioizotopowych;
- przemyśle (kontrola procesów produkcyjnych)
- placówkach naukowych

6.2.4.1 Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-3-2



Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-3-2 jest przeznaczona do pomiaru promieniowania alfa, beta, X i gamma przy użyciu odpowiednio wybranych scyntylatorów. Jest ona szczególnie przydatna do pomiaru próbek

substancji emitujących promieniowanie jonizujące. Dzięki bogatemu wyposażeniu, umożliwia wykonywanie większości pomiarów w laboratoriach naukowo-badawczych, przemysłowych i medycznych. Sonda jest przystosowana do współpracy ze wszystkimi uniwersalnymi radiometrami produkcji Zakładu Urządzeń Dozymetrycznych w Bydgoszczy (a więc z URL-1, URL-2, URS-3, RUST-2, RUST-3, oraz z aktualnie produkowanym radiometrem RUM-1).

Prosta i trwała budowa, bogate wyposażenie, mała masa i łatwa obsługa umożliwiają szerokie stosowanie sondy przy pomiarze aktywności próbek, wszędzie tam gdzie stosuje się źródła promieniowania.

Jest ona szczególnie przydatna przy zastosowaniu:

- do pomiaru aktywności próbek substancji emitujących promieniowanie alfa, beta i gamma w szerokim zakresie energii;
- do kontroli zawartości substancji promieniotwórczych w tamponach używanych do odkażania skażonych powierzchni stołów roboczych lub sprzętu w pracowniach radioizotopowych;
- do pomiaru małych mocy dawki promieniowania X i gamma;
- do pomiarów spektrometrycznych próbek emiterów promieniowania gamma.

Sonda SSU-3-2 stanowi element zunifikowanego szeregu sond o średnicy 65 mm. Zawiera ona spektrometryczny fotopowielacz o średnicy 2 cali, umieszczony na centralnym amortyzatorze sprężynowym. Ułatwia to instalowanie i wymianę scyntylatorów przez użytkownika, przy zachowaniu wysokiej powtarzalności parametrów użytkowych sondy. Sonda SSU-3-2 jest łączona z aparaturą zasilająco-rejestrującą za pomocą jednego przewodu współosiowego zakończonego złączem BNC-2,5. Oznacza to, że wysokie napięcie dla fotopowielacza jest doprowadzane tym samym przewodem którym odprowadzany jest sygnał użytkowy. Konstrukcja sondy zapewnia łatwą wymianę scyntylatorów zgodnie z potrzebami pomiarowymi. Zachowana jest przy tym wysoka powtarzalność wyników pomiarów. Istnieje możliwość łatwego dopasowania sondy do innej aparatury zasilająco-rejestrującej. Ułatwia to umieszczony wewnątrz wzmacniacz impulsów, zasilany prądem dzielnika wysokiego napięcia fotopowielacza.

Dane techniczne

- Napięcie zasilania 600 - 1500 V, polaryzacja dodatnia
- Pobór prądu 35 μA (przy 1500 V)
- Polaryzacja sygnału wyjściowego ujemna

Scyntylator	Bieg własny s^{-1}	Czułość ; wydajność $\text{imp}\cdot\text{s}^{-1}/\text{kBq};\%$	Czas narast. μs	Czas trwania μs	Redukcja tła gamma
NaJ/Tl $\phi 45 \times 50 / \phi 12,5$ (wnękowy)	≥ 250	$4 \cdot 10^{-2}$ J-125	$\leq 0,4 \mu\text{s}$	$\leq 3,5 \mu\text{s}$	
NaJ/Tl $\phi 40 \times 40$ (spektrometryczny)	≥ 150	≥ 85	$\leq 0,4 \mu\text{s}$	$\leq 3,5 \mu\text{s}$	
NaJ/Tl $\phi 40 \times 25$ (spektrometryczny)	≥ 85	≥ 25	$\leq 0,4 \mu\text{s}$	$\leq 3,5 \mu\text{s}$	
NaJ/Tl $\phi 40 \times 2$ (dla prom. X)	≥ 12	9,4 (Am-241)	$\leq 0,4 \mu\text{s}$	$\leq 3,5 \mu\text{s}$	
SAD-12 (ZnS/Ag z folią)	$\geq 0,020$	20% Pu-239	$\leq 0,6 \mu\text{s}$	$\leq 5 \mu\text{s}$	
SAD-13 (ZnS/Ag bez folii)	$\geq 0,020$	20% Pu-239	$\leq 0,6 \mu\text{s}$	$\leq 5 \mu\text{s}$	
SPF-34 (plastik bez folii)	$\geq 1,20$	25% Pm-147	$\leq 0,4 \mu\text{s}$	$\leq 3,5 \mu\text{s}$	$> 20^*$
SPF-35 (plastik z folią)	$\geq 1,20$	25% Pm-147	$\leq 0,4 \mu\text{s}$	$\leq 3,5 \mu\text{s}$	$> 20^*$

* Przy sprawdzaniu źródłami ^{90}Sr + ^{90}Y oraz ^{60}Co .

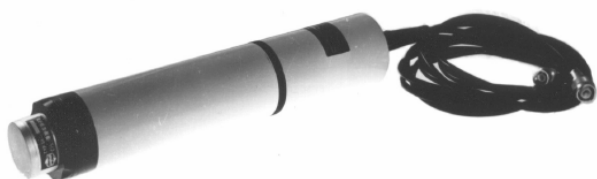
- Scyntylator patrz tablica
- Bieg własny patrz tablica
- Impuls wyjściowy sondy:
 - amplituda $\geq 100 \text{ mV}$ (zależna od użytego scyntylatora)
 - czas trwania patrz tablica
 - czas narastania patrz tablica
- Wydajność (czułość) patrz tablica
- Energetyczna zdolność rozdzielcza (dla ^{137}Cs) $\pm 10\%$
- Światłoszczelność Natężenie oświetlenia 500 lux nie powoduje wzrostu biegu własnego

- Zakres temperatur pracy -10 °C do +40 °C
- Masa ok. 2 kg
- Wymiary gabarytowe sondy Ø66 x 320 mm

Do podstawowego wyposażenia sondy należy:

- krążek zaciemniający 1 szt.
- wazelina silikonowa 1 opakowanie
- dokumentacja towarzysząca (Instrukcja obsługi + Gwarancja)

6.2.4.2 Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-70-2



Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-70-2 jest przeznaczona do pomiarów radiometrycznych promieniowania alfa, beta, X i gamma, przy użyciu odpowiednio wybranych

scyntylatorów. Jest ona szczególnie przydatna do pomiaru próbek substancji emitujących promieniowanie jonizujące. Dzięki bogatemu wyposażeniu, umożliwia wykonywanie większości pomiarów w laboratoriach naukowo-badawczych, przemysłowych, medycznych, radiobiologicznych itp. Sonda jest przystosowana do współpracy ze wszystkimi sieciowymi uniwersalnymi radiometrami produkcji Zakładu Urządzeń Dozymetrycznych w Bydgoszczy (URL-1, URL-2, URS-3) oraz z zestawami aparatury STANDARD.

Prosta i trwała budowa, bogate wyposażenie, mała masa i łatwa obsługa umożliwiają szerokie stosowanie sondy przy pomiarze aktywności próbek, identyfikacji radioizotopów itp.

Jest ona szczególnie przydatna:

- do pomiaru aktywności próbek substancji emitujących promieniowanie alfa, beta i gamma w szerokim zakresie energii;
- do pomiarów spektrometrycznych próbek emiterów promieniowania X i gamma;

- do kontroli zawartości substancji promieniotwórczych w tamponach używanych do odkażania skażonych powierzchni stołów roboczych lub sprzętu w pracowniach radioizotopowych;
- do pomiaru małych intensywności promieniowania X i gamma.

Sonda SSU-70-2 stanowi element zunifikowanego szeregu sond o średnicy 65 mm. Zawiera ona spektrometryczny fotopowielacz o średnicy 2 cali, umieszczony na centralnym amortyzatorze sprężynowym. Ułatwia to instalowanie i wymianę scyntylatorów przez użytkownika, przy zachowaniu wysokiej powtarzalności parametrów użytkowych sondy. Sonda jest łączona z aparaturą zasilająco-rejestrującą za pomocą dwóch przewodów współosiowych:

- przewodu zakończonego złączem typu C-5, doprowadzającego do sondy wysokie napięcie;
- przewodu zakończonego złączem BNC-50, służącego do odprowadzenia sygnału wyjściowego do urządzenia rejestrującego.

Sonda zawiera przedwzmacniacz o przełączanym wzmacnieniu (dwie wartości wzmacnienia w stosunku 5:1). Przewód odprowadzający sygnał użytkowy stanowi jednocześnie doprowadzenie niskiego napięcia zasilania dla wzmacniacza. Rezystor obciążenia wzmacniacza znajduje się w urządzeniu rejestrującym. Sonda jest wyposażona w gniazdo, umożliwiające wprowadzenie sygnału z zewnętrznego generatora. Można go użyć do sprawdzania toru pomiarowego.

Dane techniczne

- Napięcie zasilania: - napięcie wysokie 600 ÷ 1500 V/0,3 mA
polaryzacja dodatnia
- napięcie niskie +24 V/12 mA
- Sposób odprowadzenia sygnału wyjściowego przewodem zasilającym +24 V
- Polaryzacja sygnału wyjściowego dodatnia
- Scyntylator patrz tablica
- Bieg własny patrz tablica

Scyntylator	Bieg własny s ⁻¹	Czułość ; wydajność imp·s ⁻¹ /kBq;%	Czas narast. μs	Czas trwania μs	Redukcja tła gamma
NaJ/Tl φ45x50/φ12,5 (wnękowy)	≥ 250	360 J-125	≤ 0,3 μs	≤ 1,0 μs	
NaJ/Tl φ40x40 (spektrometryczny)	≥ 150	≥ 35	≤ 0,3 μs	≤ 1,0 μs	
NaJ/Tl φ40x25 (spektrometryczny)	≥ 85	≥ 25	≤ 0,3 μs	≤ 1,0 μs	
NaJ/Tl φ40x2 (dla prom. X)	≥ 20	13 (Am-241)	≤ 0,3 μs	≤ 1,0 μs	
SAD-12 (ZnS/Ag z foli ¹)	≥ 0,033	20% Pu-239	≤ 0,6 μs	≤ 5 μs	
SAD-13 (ZnS/Ag bez folii)	≥ 0,033	20% Pu-239	≤ 0,6 μs	≤ 5 μs	
SPF-34 (plastik bez folii)	≥ 1,20	60% TI-204	≤ 0,4 μs	≤ 3,5 μs	> 30 ⁺
SPF-35 (plastik z folią)	≥ 1,20	60% TI-204	≤ 0,4 μs	≤ 3,5 μs	> 30 ⁺

* Przy sprawdzaniu źródłami ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y oraz ⁶⁰Co.

- Impuls wyjściowy sondy:
 - amplituda (50 ÷ 200) mV
 - czas trwania patrz tablica
 - czas narastania patrz tablica
- Wydajność (czułość) patrz tablica
- Energetyczna zdolność rozdzielcza:
 - dla energii 662 keV ≤ 10% dla scyntylatorów spektrometrycznych
 - dla energii 35 keV 40%
- Nieliniowość energetyczna w zakresie energii (100 ÷ 1500) keV 2,0%
- Światłoszczelność Natężenie oświetlenia 500 lux nie powoduje wzrostu biegu własnego
- Doprowadzenie sygnału kontrolnego złącze BNC-50-0/G1

- Długość przewodów zasilających 3 m
- Zakres temperatur pracy -10 °C do +40 °C
- Masa ok 2 kg
- Wymiary gabarytowe sondy Ø65 x 306 mm

6.2.5. Radiometr DPO



Radiometr, w zależności od konfiguracji, jest przeznaczony do pomiaru równoważnika dawki i mocy równoważnika dawki promieniowania X i gamma oraz do wykrywania i pomiaru stopnia skażenia powierzchni nuklidami alfa, beta i gamma promieniotwórczymi. Umożliwia on również realizowanie innych specjalizowanych pomiarów radiometrycznych, oraz sygnalizowanie przekroczenia wybranych progów wartości pomiarowych.

Radiometr DPO może być instalowany nie tylko w stałych obiektach obronnych i ochronnych o przeznaczeniu militarnym, punktach dowodzenia, lecz również może stanowić podstawowy sprzęt dozymetryczny, użytkowany na pokładach okrętów i obiektów pływających Marynarki Wojennej oraz w pojazdach mechanicznych i wozach bojowych. Zapewniona jest również możliwość jego wykorzystania na pokładach samolotów i śmigłowców w części kabinowej.

W wersji podstawowej (panel pomiarowy z sondą/sondami), radiometr może być wykorzystany jako specjalistyczny, przenośny przyrząd rozpoznania i pomiaru skażeń promieniotwórczych.

W chwili obecnej radiometr może być wyposażony w dwa typy sond:

- sonda do pomiaru promieniowania X i gamma w szerokim zakresie mocy dawki,
- sonda do pomiaru skażeń nuklidami alfa, beta i gamma promieniotwórczymi.

Dane techniczne

(dla przyrządu z sondą do pomiaru promieniowania X i γ - DPO-G)

- Zakres pomiaru mocy równoważnika dawki (MRD) $0,1 \mu\text{Sv/h} \div 50 \text{ Sv/h}$
- Zakres pomiaru równoważnika dawki (RD) $1 \mu\text{Sv} \div 50 \text{ Sv}$
- Błąd pomiaru RD i MRD
 - w zakresie do $10 \mu\text{Sv/h}$ $\leq 20 \%$
 - w zakresie $10 \mu\text{Sv/h}$ do 50 Sv/h $\leq 30 \%$
- Nierównomierność charakterystyki energetycznej w zakresie $65 \text{ keV} \div 1 \text{ MeV}$ (względem 662 keV) $\pm 25 \%$
- Zakres temperatury pracy:
 - pulpit pomiarowy $(-30 \div +60) ^\circ\text{C}$
 - sonda $(-40 \div +60) ^\circ\text{C}$
- Zakres temperatury granicznej $(-50 \div +70) ^\circ\text{C}$

(dla przyrządu z sondą do pomiaru promieniowania α , β , X i γ - DPO-S)

- Zakres pomiaru skażeń powierzchni od poz. tła do $99,9 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$
- Czułość dla nuklidów:
 - ^{241}Am $> 1,5 \text{ imp} \times \text{s}^{-1}/\text{Bq} \times \text{cm}^{-2}$
 - ^{14}C $> 0,25 \text{ imp} \times \text{s}^{-1}/\text{Bq} \times \text{cm}^{-2}$
 - ^{204}Tl $> 1,5 \text{ imp} \times \text{s}^{-1}/\text{Bq} \times \text{cm}^{-2}$
 - $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ $> 1,5 \text{ imp} \times \text{s}^{-1}/\text{Bq} \times \text{cm}^{-2}$

- Nieliniowość wskazań $\leq 15 \%$
- Powierzchnia okienka pomiarowego 15 cm^2
- Gęstość powierzchniowa okienka $(1,5 \div 2,0) \text{ mg/cm}^2$
- Zasilanie:
 - napięcie stałe $(9 \div 30) \text{ V}$
 - napięcie przemienne 230 V przez zasilacz
- Wymiary gabarytowe :
 - pulpit pomiarowy (bez osłony gumowej) $218 \times 89 \times 101 \text{ mm}$
- Maksymalna długość przewodu sondy 100 m (1000 m ze specjalnym kablem)

6.2.6. Radiometr RK-100



Radiometr RK-100 jest przeznaczony do:

- pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa, beta i gamma promieniotwórczymi;
- pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki promieniowania X i gamma;

- pomiaru mocy dawki promieniowania X i gamma.

Prosta i bardzo trwała obudowa, mała masa i łatwa obsługa umożliwiają szerokie stosowanie przyrządu przy wykrywaniu źródeł promieniowania i ocenie poziomu skażeń oraz jako przyrząd pomiarowy wszędzie tam gdzie stosuje się źródła promieniowania.

Radiometr RK-100 jest szczególnie przydatny do stosowania:

- w kontroli granicznej i celnej, oraz służbach ratownictwa technicznego;
- do kontroli szczelności źródeł izotopowych czujek dymu;
- w inspektoratach sanitarno-epidemiologicznych;
- do kontroli skażeń rak, odzieży roboczej, powierzchni stołów roboczych w pracowniach radiobiologicznych oraz pracowniach medycyny nuklearnej;
- do kontroli skażeń i mocy dawki w transporcie kolejowym i drogowym;
- przez inspektorów ochrony radiologicznej.

Radiometr RK-100 produkowany jest w dwóch wykonaniach:

- z sondą wewnętrzną do pomiaru mocy równoważnika dawki, mocy dawki pochłoniętej, równoważnika dawki i dawki pochłoniętej promieniowania gamma, oraz
- z sondą wewnętrzną do pomiaru mocy równoważnika dawki, mocy dawki pochłoniętej, równoważnika dawki i dawki pochłoniętej promieniowania gamma oraz, po podłączeniu sondy zewnętrznej, pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa, beta i gamma promieniotwórczymi.

Dane techniczne

- Zakres pomiarowy dla sondy zewnętrznej
 - mocy przestrzennego równoważnika dawki do 1000 /Sv/h
 - skażenia emiterami promieniotwórczymi do 10^4 s^{-1}
- Zakres pomiarowy dla sondy wewnętrznej

- mocy przestrzennego równoważnika dawki do 50 mSv/h
- mocy dawki do 50 mGy/h
- przestrzennego równoważnika dawki 0,1 /Sv ...>10 Sv
- dawki 0,1 /Gy ...>10 Gy
- Błąd wskazań dla ^{137}Cs
 - mocy przestrzennego równoważnika dawki powyżej 1/Sv/h; 20%
 - mocy dawki powyżej 1 /Gy/h; 20%
 - przestrzennego równoważnika dawki powyżej 1 /Sv/h; 20%
 - dawki powyżej 1 /Gy/h; 20%
- Nierównomierność charakterystyki energetycznej sondy wewnętrznej dla promieniowania gamma
 - w zakresie energii od 65 keV do 1 MeV; 25%
 - w zakresie energii od 40 keV do 1,25 MeV; 30%
- Nierównomierność charakterystyki energetycznej sondy zewnętrznej dla promieniowania gamma w zakresie energii od 40 keV do 1,25 MeV; 25%
- Bieg własny:
 - przy pomiarze mocy przestrzennego równoważnika dawki $\leq 0,27$ /Sv/h
 - przy pomiarze mocy dawki $\leq 0,23$ /Gy/h
 - przy pomiarze skażeń ≤ 5 s⁻¹
- Zasilanie 6 V (4 x AAA)
- Pobór mocy bez promieniowania < 10 mW
- Zakres temperatur pracy -25 °C ÷ +40 °C

6.2.7. Monitor promieniowania gamma i neutronowego PM-1401GN



Monitor promieniowania gamma i neutronowego PM-1401GN jest przeznaczony do wykonywania następujących zadań:

- wykrywania i lokalizacji materiałów promieniotwórczych i jądrowych, emitujących promieniowanie gamma i/lub neutronowe;
- pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki (10) (MRD) promieniowania gamma.

Historia pracy przyrządu jest zachowywana w nie ulotnej pamięci i może być przesłana do komputera osobistego (PC) w celu obróbki lub archiwizacji danych. Monitor PM-1401GN wyróżnia się wysoką czułością na promieniowanie gamma i neutronowe w szerokim zakresie energii i możliwością lokalizacji źródeł w obecności wysokiego poziomu tła promieniowania. Jednocześnie cechuje go wysoka odporność na narażenia mechaniczne, hermetyczność, małe wymiary i masa. Z tego względu jest on szczególnie przydatny jako wyposażenie funkcjonariuszy Straży Granicznej, Służb celnych i innych służb do kontroli wszelkiego rodzaju ruchu towarów i osób, w celu wykrycia niekontrolowanego przewozu materiałów promieniotwórczych, oraz wyposażenie służb ratownictwa technicznego, policji, inspekcji transportu drogowego, obrony cywilnej i wojska.

Monitor PM-1401GN posiada trwałą, szczelną obudowę metalową, która zapewnia jego wygodne użytkowanie. Może być on noszony na pasie, po wyposażeniu go w specjalny klips. Podczas wykonywania pomiarów może być trzymany bezpośrednio w ręku lub w specjalnym przedłużaczu teleskopowym, który ułatwia obmiar różnych obiektów.

Przedłużacz teleskopowy ułatwia kontrolę dużych obiektów jak wagony, kontenery, samochody ciężarowe.

Przekroczenie zarejestrowanego tła promieniowania jest sygnalizowane akustycznie lub, bardziej dyskretnie, za pomocą przetwornika wibracyjnego. Po włączeniu następuje automatyczna kontrola sprawności przyrządu – sygnalizowane są wszelkie niesprawności. Następuje również zapamiętanie poziomu tła naturalnego promieniowania. Włączenie alarmu następuje w chwili, gdy poziom promieniowania pochodzący od źródła przekroczy nastawiony próg. Częstotliwość sygnału akustycznego, lub wibracyjnego, wzrasta w miarę zbliżania sygnalizatora do źródła promieniowania.

Informacje zgromadzone w nie ulotnej pamięci monitora można przesłać do komputera osobistego, za pomocą interfejsu podczerwieni IRDA, który może być dostarczony wraz z monitorem na oddzielne zamówienie. Z komputera można również uaktywnić lub zablokować pewne możliwości dokonywania nastaw parametrów monitora, przy użyciu jego przycisków sterowniczych.

Dane techniczne

- Detektory promieniowania: scyntylator CsJ/Tl, licznik ^3He
- Wykrywanie źródeł neutronów spełnia wymagania ITRAP
- Zakres energii neutronów termiczne ÷ 14 MeV
- Czułość przyrządu:

o na promieniowanie gamma, $\text{s}^{-1}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$:

– dla ^{137}Cs	100,0
– dla ^{241}Am	70,0

o na promieniowanie neutronowe $\text{s}^{-1}/\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$:

– dla Pu- α -Be	0,1
– dla neutronów termicznych	7,0
– dla Pu- α -Be przy użyciu z komory-moderatora	1,0

- Zakres pomiaru MRD promieniowania fotonowego (10) ($0,1 \div 40$) $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
- Zakres podstawowego błędu pomiaru MRD dla $^{137}\text{Cs} \pm 20 \%$
- Czas zliczania (nastawy fabryczne):
 - w trybie kalibracji według poziomu tła 36 s
 - w trybie poszukiwania 2 s
- Czas pracy ciągłej z jednym ogniwem zasilającym min. 800 h
- Zakres temperatur pracy:
 - przyrządu $(-30 \div +50) ^\circ\text{C}$
 - wskaźnika ciekłokrystalicznego (WCK) $(-15 \div +50) ^\circ\text{C}$
- Przyrząd wytrzymałe spadki swobodne na podłogę betonową z wysokości do 0,7 m
- Stopień ochrony obudowy przyrządu IP 65
- Znamionowe napięcie zasilania 1,5 V (jedno ogniwo LR6)
- Masa przyrządu z ogniwem zasilającym: 0,45 kg
- Wymiary gabarytowe:
 - przyrządu bez klipsa $(185 \times 57 \times 32) \text{ mm}$
 - zewnętrznego sygnalizatora wibracyjnego $\varnothing 10 \times 60 \text{ mm}$

6.2.8. Wielofunkcyjny monitor promieniowania PM-1401K



Wielofunkcyjny, ręczny monitor promieniowania PM-1401K jest przeznaczony do wykonywania następujących prac:

- poszukiwania (wykrywania i lokalizacji) materiałów promieniotwórczych i rozszczepialnych, za pomocą rejestracji promieniowania gamma i rentgenowskiego, neutronowego, alfa i beta;
- zdejmowania i gromadzenia scyntylacyjnych widm promieniowania fotonowego;
- identyfikacji składu radioizotopów zawartych w badanej substancji na podstawie zgromadzonych scyntylacyjnych widm promieniowania gamma, za pomocą komputerów iPAQ Pocket PC lub komputera osobistego (PC);
- pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa i beta promieniotwórczymi;
- pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki (MRD) promieniowania fotonowego H (10).

Monitor PM-1401K jest przeznaczony zasadniczo do wykorzystania przez funkcjonariuszy Straży Granicznej i Służby Celnej jako pomoc w zapobieganiu nielegalnemu obrotowi źródłami promieniotwórczymi i materiałami jądrowymi, jak również przez pracowników laboratoriów radiologicznych i izotopowych, służb awaryjnych, oraz przez pracowników innych gałęzi gospodarki narodowej, w których wykorzystywane są źródła promieniowania jonizującego.

Monitor składa się z dwóch zasadniczych części:

- ręcznego monitora promieniowania PM 1401K, oraz dodatkowo
- komputera kieszonkowego typu iPAQ H5550 (lub innego o identycznych parametrach).

Informacje zgromadzone przez monitor są przekazywane do komputera stanowiącego część składową zestawu, względnie do komputera stacjonarnego, stanowiącego wyposażenie punktu dowodzenia, miejsca gromadzenia informacji lub punktu konsultacyjnego Straży Granicznej lub innej instytucji, zaangażowanej w kontrolę ruchu materiałów promieniotwórczych lub rozszczepialnych. Przekazywanie informacji do komputera odbywa

sie poprzez łączy podczerwieni IRDA lub przez kanał radiowy Bluetooth. Właściwość ta stanowi bardzo ważną zaletę przyrządu, gdyż umożliwia funkcjonariuszowi straży Granicznej:

- zwrócenie się o pomoc do osób o wysokich kwalifikacjach naukowych w przypadku konieczności identyfikacji źródeł o skomplikowanym składzie;
- zwrócenie się do przełożonych o wsparcie w przypadkach, gdy podjęcie decyzji jest szczególnie trudne i odpowiedzialne.

Komputer, wyposażony w odpowiednie oprogramowanie, służy do analizy widm scyntylacyjnych otrzymanych z monitora PM-1401K i na tej podstawie do identyfikacji izotopów promieniotwórczych wykrytych przez monitor. Komputer posiada bibliotekę charakterystyk widmowych promieniowania jonizującego różnych izotopów promieniotwórczych i na podstawie porównania widma wykrytego promieniowania z wzorami biblioteki identyfikuje izotop znajdujący się w wykrytym źródle. Na podkreślenie zasługuje fakt, że biblioteka charakterystyk widmowych jest otwarta i może być uzupełniana w miarę wprowadzania zmian w przepisach krajowych i zaleceniach międzynarodowych, dotyczących wykrywania i identyfikacji przewożonych źródeł promieniowania.

Pomiar różnego rodzaju promieniowania jonizującego jest realizowany za pomocą wbudowanych bloków detekcji. Pomiar MRD promieniowania fotonowego, jak również gęstości strumienia promieniowania α i β jest realizowany za pomocą wbudowanego uniwersalnego bloku detekcji opartego o okienkowy licznik Geigera – Müllera (BDG).

Promieniowanie neutronowe (częstość impulsów) jest rejestrowane za pomocą wbudowanego bloku detekcji promieniowania neutronowego (BDN) opartego o licznik neutronów powolnych.

Rejestracja promieniowania fotonowego (częstość impulsów) w trybie poszukiwania jest dokonywana za pomocą bloku detekcji, opartego o scyntylator CsJ (BDS). Za pomocą tegoż bloku detekcji wykonywana jest rejestracja scyntylacyjnych widm promieniowania fotonowego.

Sterowanie każdym blokiem detekcji dokonuje się za pomocą oddzielnych sterowników mikroprocesorowych. Informacje z bloków detekcji są podawane do głównego sterownika mikroprocesorowego GSMP. Wyboru trybów pracy i programowanie radiometru

dokonywane za pomocą klawiatury o czterech klawiszach (K) poprzez ekranowe menu. W trybie łączności z komputerem osobistym (PC) wybór trybów pracy i programowanie radiometru jest wykonywane z komputera poprzez interfejs związany z IrDA, lub przez kanał radiowy z wykorzystaniem Bluetooth. Wyniki pomiaru i parametry programowania są przedstawiane na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym (WCK). Przyrząd posiada wbudowany sygnalizator akustyczny i zewnętrzny sygnalizator wibracyjny, który jest podłączany do radiometru za pomocą elastycznego przewodu.

Włączenie przyrządu wykonuje się jednym z klawiszy klawiatury. Zasilanie przyrządu stanowi jedno ogniwo typu R6 (AA). W skład kompletu dostawy przyrządu wchodzi pierścienie dystansowe Nr1, Nr2 oraz Nr3, jak również filtry promieniowania α Nr1 i Nr2, wykorzystywane przy pomiarach gęstości strumienia promieniowania α i β .

Przyrząd ma następujące tryby pracy:

- tryb sprawdzania (testowanie);
- tryb kalibracji (kalibracja);
- tryb poszukiwania γ , n (poszukiwanie γ , n);
- tryb rejestracji n (rejestracja n);
- tryb poszukiwania α , β i γ (poszukiwanie α , β i γ);
- tryb wskazywania menu (menu);
- tryb nastaw (nastawy);
- tryb pomiaru MRD promieniowania fotonowego (pomiar γ);
- tryb pomiaru gęstości strumienia promieniowania (pomiar α i β);
- tryb rejestracji widm scyntylacyjnych promieniowania fotonowego (widmo);
- tryb łączności z komputerem osobistym (Łączność IR i Bluetooth);
- tryb wyłączenia (wyłączenie).

Dane techniczne (przyrząd zasadniczy)

- Pomiary z wykorzystaniem bloku BDG:

- zakres pomiaru promieniowania fotonowego $0,1 \div 10^5 \mu\text{Sv/h}$
- zakres pomiaru promieniowania α $15 \div 10^5 \text{ min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$
- zakres pomiaru promieniowania β $6,0 \div 10^5 \text{ min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$

- Pomiary z wykorzystaniem bloku BDS:

- czułość dla źródła ^{241}Am $200,0 \text{ s}^{-1} / \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
- czułość dla źródła ^{137}Cs $200,0 \text{ s}^{-1} / \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
- zakres energii promieniowania fotonowego $0,06 \div 3,0 \text{ MeV}$

- Pomiary z wykorzystaniem bloku BDN:

- zakres wskazywania częstości impulsów $0,01 \div 999 \text{ s}^{-1}$
- czułość dla neutronów $0,1 \text{ imp} \cdot \text{cm}^2$ dla Pu- α -Be
 $1,0 \text{ imp} \cdot \text{cm}^2$ dla Pu- α -Be z moderat.

- Zasilanie 1 ogniwo R6 alkaliczne
- Czas pracy z jednym ogniwem 600 h
- Zakres temperatur pracy $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Rodzaje sygnalizacji akustyczna, wibracyjna, świetlna
- Wymiary gabarytowe 240 x 57 x 55 mm
- Masa 650 g

ROZDZIAŁ 7

ZASADY BEZPIECZNEJ PRACY Z PROMIENIOWANIEM JONIZUJĄCYM

7.1. Wprowadzenie

Rozdział ten w dużej mierze będzie opierał się na przepisach prawnych dotyczących poruszanej tematyki i zawartych w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 140/2006, poz. 994).

Rozporządzenie powyższe określa:

1. wymagania techniczne i wymagania ochrony radiologicznej dotyczące pracowni stosujących źródła promieniotwórcze lub urządzenia zawierające takie źródła oraz wymagania dotyczące urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące i pracowni stosujących takie urządzenia,
2. wzory tablic informacyjnych do oznakowania wejść do pracowni, wzór tablicy informacyjnej do oznakowania miejsca przechowywania źródeł promieniotwórczych;
3. podział pracowni izotopowych z otwartymi źródłami promieniotwórczymi na klasy i kryteria tego podziału;
4. wymagania dotyczące pracy ze źródłami promieniotwórczymi, urządzeniami zawierającymi takie źródła oraz urządzeniami wytwarzającymi promieniowanie jonizujące, stosowanymi poza pracowniami opisanymi w punkcie 1;
5. sposób prowadzenia kontroli źródeł promieniowania jonizującego oraz ewidencji źródeł promieniotwórczych, częstotliwość tej kontroli i sposób dokumentowania jej wyników;
6. wzory kart ewidencyjnych do prowadzenia ewidencji źródeł promieniotwórczych, okres przechowywania tych kart i innych dokumentów ewidencji;
7. dokumenty ewidencji, których kopie stanowią podstawę wpisu do rejestru źródeł wysokoaktywnych, z którymi jest wykonywana działalność związana z narażeniem,

oraz innych zamkniętych źródeł promieniotwórczych stosowanych i przechowywanych w jednostkach organizacyjnych wykonujących na podstawie zezwolenia działalność polegającą na stosowaniu lub przechowywaniu źródeł promieniotwórczych lub urządzeń zawierających takie źródła;

8. częstotliwość przekazywania kopii dokumentów ewidencji Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki, a także okres przechowywania przez niego tych kopii.

Teraz podamy kilka definicji i określeń, z którymi będziemy spotykali się w dalszej części tego rozdziału.

Ochrona radiologiczna – to zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom – ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak to jest rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych. W ochronie radiologicznej stosuje się pojęcia **narażenie** oraz **zagrożenie**.

Narażenie to konsekwencja tego, że osoba pracująca ze źródłem w normalnych warunkach pracy otrzymuje zawsze pewną dawkę od promieniowania.

Zagrożenie (narażenie potencjalne) to sytuacja, w której w wyniku różnych nieprawidłowości może (ale nie musi) dojść do powstania dodatkowego narażenia, przy czym prawdopodobieństwo jego wystąpienia i wielkość mogą być zawczasu oszacowane.

Inne definicje i określenia:

- o **Aparat rentgenowski** – aparat lub zestaw składający się z urządzeń przeznaczonych do wytwarzania i wykorzystywania promieniowania rentgenowskiego, w którym źródłem promieniowania jonizującego jest lampa rentgenowska.
- o **Pracownia izotopowa** – pomieszczenie lub zespół pomieszczeń przeznaczonych do pracy z otwartymi lub zamkniętymi źródłami promieniotwórczymi oraz urządzeniami zawierającymi zamknięte źródła promieniotwórcze.
- o **Wyjściowy materiał promieniotwórczy** – materiał tarczowy po aktywacji lub inny materiał wykorzystywany do produkcji źródeł promieniotwórczych.
- o **Zdarzenie radiacyjne** (określenie przyjęte dla awarii występujących w wyniku stosowania źródeł promieniowania jonizującego i urządzeń do wytwarzania

promieniowania jonizującego-akceleratorów, aparatów rentgenowskich) - jest to każde nieprzewidziane wydarzenie, które powoduje lub może spowodować przekroczenie dawek granicznych lub dopuszczalnego poziomu skażeń promieniotwórczych. Przekroczenie wartości dawek granicznych powoduje konsekwencje dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące, a również narzuca obowiązek zastosowania **procedur wyjaśniających okoliczności sytuacji** w jakiej doszło do przekroczenia tych wartości.

7.2. System ochrony radiologicznej

Na system ochrony radiologicznej składa się szereg elementów:

- spełnienie warunków technicznych
- spełnienie warunków organizacyjno - prawnych (np. zezwolenia, uprawnienia)
- szkolenie pracowników
- nadzór medyczny nad pracownikami narażonymi na promieniowanie
- zapewnienie środków ochrony i sprzętu medycznego
- kontrola dawek indywidualnych i środowiska pracy
- prowadzenie ewidencji: źródeł i odpadów promieniotwórczych, wyników kontroli dawek
- stosowanie zasady ALARA
- ograniczenia jakościowe i ilościowe. dawki graniczne, limity użytkowe dawki
- klasyfikacje, kategorie narażenia, strefy jako środki ograniczania narażenia
- monitoring stanowisk pracy i ich otoczenia i monitoring indywidualny
- ustalenie postępowania awaryjnego i potencjalne zapewnienie środków zaradczych, bieżąca ocena potencjalnych zagrożeń i podejmowanie stosownych działań w celu ich ograniczania

- system zapewnienia jakości obejmujący wszystkie elementy ochrony radiologicznej
- koordynacja innych funkcjonujących systemów ochronnych z wymaganiami systemu ochrony radiologicznej (ppoż., sanepid., bhp)
- odpowiedzialność prawna pracodawcy (Prawo atomowe...)

W systemie ochrony radiologicznej w medycynie trzeba ponadto dodatkowo uwzględnić specyfikę wynikającą z medycznych zastosowań źródeł promieniowania jonizującego.

Krąg osób, które należy chronić przed skutkami promieniowania jonizującego, obejmuje:

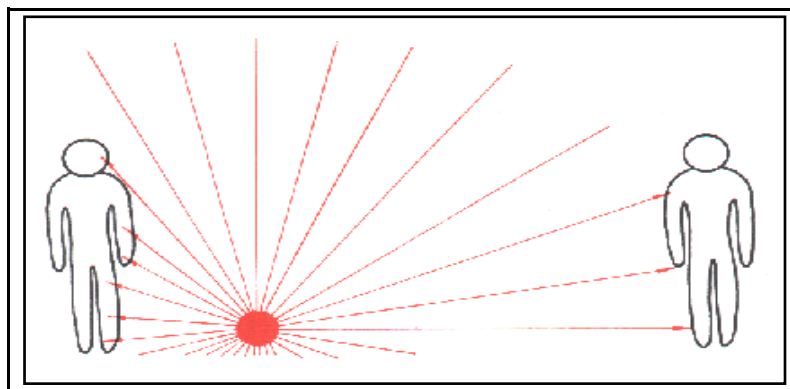
- pracowników, studentów i uczniów odbywających praktyki
- pacjentów
- rodziny pacjentów
- osoby postronne.

Promieniowanie jonizujące **może być niebezpieczne, ale nie musi**. Trzeba tylko znać i stosować **zasady ochrony radiologicznej**. Te zasady to nic innego jak sposoby zmniejszania narażenia i ograniczania dawek. Promieniowanie to wysyłanie i przenoszenie energii. Podczas oddziaływania z materią promieniowanie traci energię, a pochłania ją wszystko, co znajdzie się w polu promieniowania: powietrze, woda, nasze ciało. Ten ostatni przypadek interesuje nas najbardziej.

Podstawowe zasady ochrony radiologicznej:

ZASADA 1 – IM DALEJ TYM BEZPIECZNIEJ

Ilość pochłoniętej energii musi zależeć od odległości obiektu pochłaniającego energię od źródła tej energii. Im dalej od źródła jesteśmy tym mniej promieniowania do nas dochodzi.



ZASADA 2 – IM KRÓTSZY CZAS NARAŻENIA TYM MNIEJSZA DAWKA PROMIENIOWANIA

Następny czynnik to czas narażenia. Jeżeli znajdujemy się w stałej odległości od źródła, to przebywając w tym miejscu przez np. 2 godziny pochłoniemy więcej energii, a więc otrzymamy większą dawkę, niż w ciągu 1 godziny.

ZASADA 3 – STOSUJ OSŁONY. OSŁONA OSŁABIA PROMIENIOWANIE

Na drodze promieniowania, pomiędzy źródłem a naszym ciałem, wstawiamy przeszkodę: ścianę, deskę lub kształtkę ołowianą.

Co się stanie? Przeszkoda pochłonie całkowicie lub częściowo energię promieniowania, a więc osłoni nas przed promieniowaniem.

Bezpieczeństwo pracy ze źródłami promieniowania jonizującego wymaga więc przestrzegania zasady ograniczenia narażenia przez skracanie czasu narażenia, zwiększanie odległości od źródła promieniowania jonizującego, ograniczanie pola tego promieniowania (osłony) i eliminowanie skażeń promieniotwórczych, w szczególności przez:

- stosowanie wyposażenia i sprzętu zgodnie z ich przeznaczeniem oraz zaleceniami producenta;
- stosowanie środków ochrony indywidualnej;
- dopuszczenie do pracy na poszczególnych stanowiskach pracy osób przeszkolonych i posiadających uprawnienia wymagane do pracy na tych stanowiskach;

- stałą kontrolę stosowanych procedur oraz bieżącą kontrolę i konserwację eksploatowanych urządzeń.

7.3. Osłony przed promieniowaniem

Podstawowym elementem ochrony przed napromienieniem zewnętrznym są **osłony**. Stosowane są powszechnie: osłony bezpośrednie źródeł, stanowisk pracy, bezpośrednie - osobiste, stosowane doraźnie przez pracowników, osłony przestrzeni, w których pracuje się ze źródłami, otoczenia itp.

Rodzaje osłon:

- o **Osłony stałe** są to przeważnie ściany osłonowe. Jako osłony stałe zwykle kwalifikuje się też osłony rozbieralne, które są zbudowane z elementów prefabrykowanych. Mogą to być ściany zbudowane z kształtek ołowianych lub specjalnie ukształtowanych bloczków betonowych.
- o **Osłony ruchome** to wszelkiego typu pojemniki transportowe, oraz pojemniki służące do przechowywania źródeł, odpadów, głowice i kolimatory urządzeń radiacyjnych. Do osłon ruchomych zaliczamy także ekrany, parawany ochronne itp. elementy ustawiane dla bieżących potrzeb.
- o **Osłony osobiste** są to na ogół dodatkowe elementy osłaniające, zalecane do stosowania przez personel w czasie pracy w celu zmniejszenia narażenia. Należą do nich: fartuchy z gumy ołowiowej (pracownie rentgenowskie), osłony na strzykawkę, osłony miejscowe różnych narzędzi (pracownie medycyny nuklearnej) rękawice, okulary ochronne itp.

Kryteria doboru materiału na osłony możemy podzielić ogólnie na dwie zasadnicze grupy:

1. wynikające z własności różnych rodzajów promieniowania jonizującego w oddziaływaniu z materiałą
2. wynikające z wymagań eksploatacyjnych osłanianych źródeł i stanowisk pracy, uwarunkowań techniczno - konstrukcyjnych osłon, ich lokalizacji i czynników ekonomicznych.

Nie stosuje się osłon przed promieniowaniem α ze względu na jego bardzo małą przenikliwość. Mówimy tutaj wyłącznie o napromienieniu zewnętrznym.

Trzeba pamiętać, że w przypadku wchłonięć izotopy alfa-promieniotwórcze są nadzwyczaj niebezpieczne. Dlatego przed taką ewentualnością powinniśmy się zabezpieczyć.

Elektrony (**promieniowanie beta**) są znacznie bardziej przenikliwe niż promieniowanie α . Ich zasięg w powietrzu może, w zależności od energii, wynosić nawet kilkanaście metrów.

Zatem w tym przypadku zachodzi konieczność stosowania osłon. Stosuje się materiały lekkie, jak np. szkło organiczne, tworzywa sztuczne, aluminium itp.

Promieniowanie X i γ jest bardzo przenikliwe. Problem zapewnienia odpowiednich osłon przed napromienieniem zewnętrznym nabiera tutaj pierwszorzędного znaczenia.

Ze względu na dużą przenikliwość tego promieniowania i - co za tym idzie - konieczność stosowania grubych i ciężkich osłon, istotnym staje się dobór najbardziej efektywnych materiałów osłonnych, spełniających jednocześnie wymagania eksploatacyjne.

Najbardziej efektywne okazały się materiały ciężkie, jak ołów, czy uran zubożony.

Stosuje się je w tych przypadkach, kiedy istotne jest aby rozmiary osłon były możliwie jak najmniejsze, a więc np. w pojemnikach ochronnych przenośnych, głowicach urządzeń radiacyjnych i aparatów kobaltowych, osłony w urządzeniach przenośnych, w osłonach ruchomych i rozbieralnych i wszędzie tam, gdzie wymagają tego warunki eksploatacyjne.

Oprócz tego często, szczególnie na osłony stałe, stosuje się różnego rodzaju betony, stanowiące popularny i tani materiał budowlany konstrukcyjny lub wypełniający konstrukcję obiektu. Stosuje się je wszędzie tam, gdzie warunki eksploatacyjne i techniczne pozwalają na większe grubości osłon. Ich wielką zaletą jest możliwość zmiany właściwości technicznych i fizycznych, w tym również osłonnych, przez stosowanie różnego rodzaju dodatków oraz ciężkich kruszyw, polepszających właściwości osłonne (beton limonitowy, barytowy).

Bardzo przenikliwe są też neutrony prężkie (o energiach rzędu MeV). Rozmaitość oddziaływań i powstających przy tym rodzajów promieniowań wtórnych, jak również zależność oddziaływania od energii neutronów powodują, że **trudno zbudować skuteczną osłonę przed neutronami prężkimi**. Natomiast stosunkowo łatwo zatrzymać neutrony

powolne (o niskiej energii - rzędu eV i mniejszych), stosując dobre pochłaniacze tych neutronów, jakimi są np. kadm czy bor. Dlatego **neutrony prędkie trzeba najpierw spowolnić.**

Tak więc osłona źródła neutronowego składa się z **dwóch kolejnych warstw:**

- spowalniającej z materiału o małej liczbie atomowej (węgiel i jego związki z wodorem, parafina, woda i inne materiały zawierające dużo wodoru),
- pochłaniającej neutrony powolne.

7.4. Zasada „ALARA”

Przy stosowaniu promieniowania jonizującego obowiązuje

ZASADA „ALARA” (As Low As Reasonably Achievable),

która mówi, że należy tak planować i organizować pracę z promieniowaniem jonizującym, aby otrzymane dawki były możliwie jak najmniejsze z racjonalnym uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych (zysk musi być zawsze większy od strat).

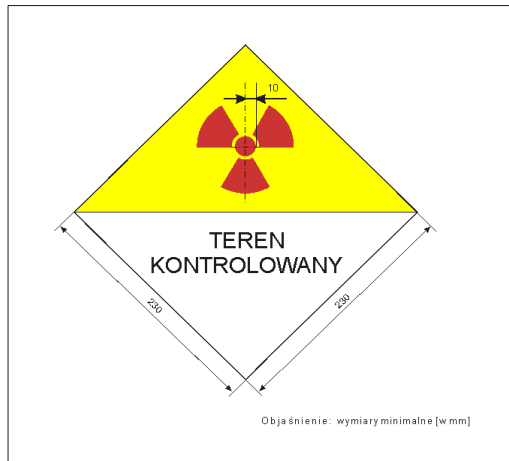
7.5. Znaki ostrzegawcze przed promieniowaniem

Wzory znaków i tablic informacyjnych znajdziemy w trzech rozporządzeniach Rady Ministrów.

- o Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 20 lutego 2007 r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych: teren kontrolowany, teren nadzorowany
- o Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego: magazyn odpadów promieniotwórczych

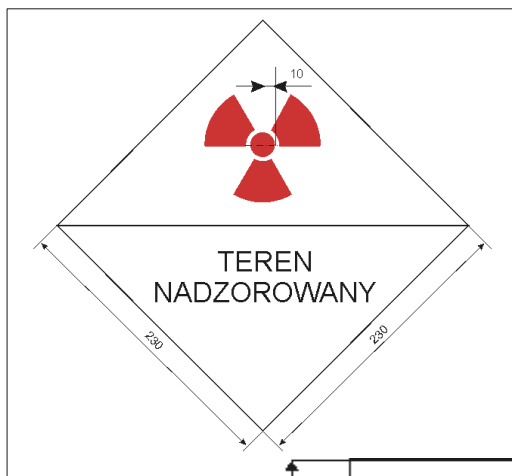
- o Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego: pracownia akceleratorowa, pracownia rentgenowska, magazyn źródeł promieniotwórczych, pracownia klasy Z i inne

Poniżej przedstawione zostały wzory znaków ostrzegawczych i tablic informacyjnych, które występują w wyżej podanych Rozporządzeniach.



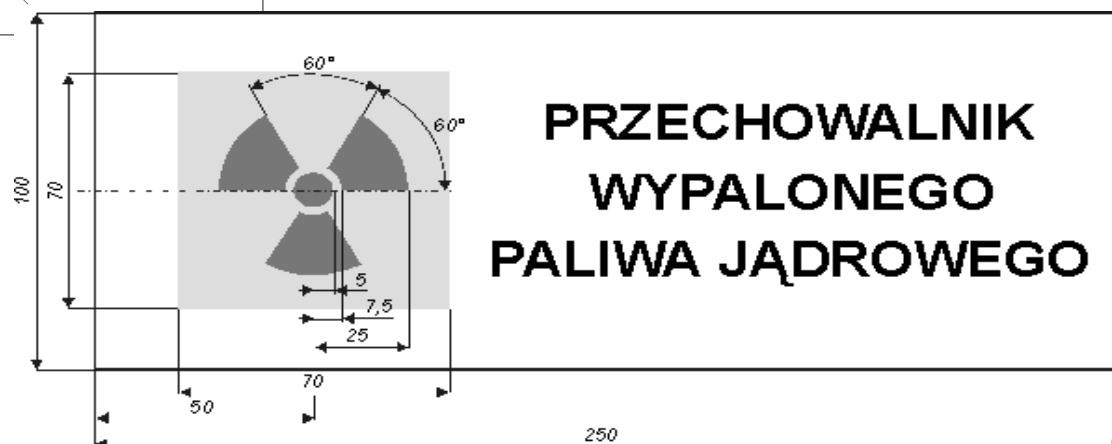
Oznakowanie **terenu kontrolowanego**

(Dz. U. nr 131/2007 poz. 910)



Oznakowanie **terenu nadzorowanego**

(Dz. U. nr 131/2007 poz. 910)



Oznakowanie **miejsca przechowywania wypalonego paliwa jądrowego**

=== żółty kolor tła znaku, czerwony kolor znaku promieniowania ===

(Dz. U. nr 230/2002 poz. 1925)



MAGAZYN ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Oznakowanie **magazynu odpadów promieniotwórczych**

=== żółty kolor tła znaku, czerwony kolor znaku promieniowania ===

(Dz. U. nr 230/2002 poz. 1925)

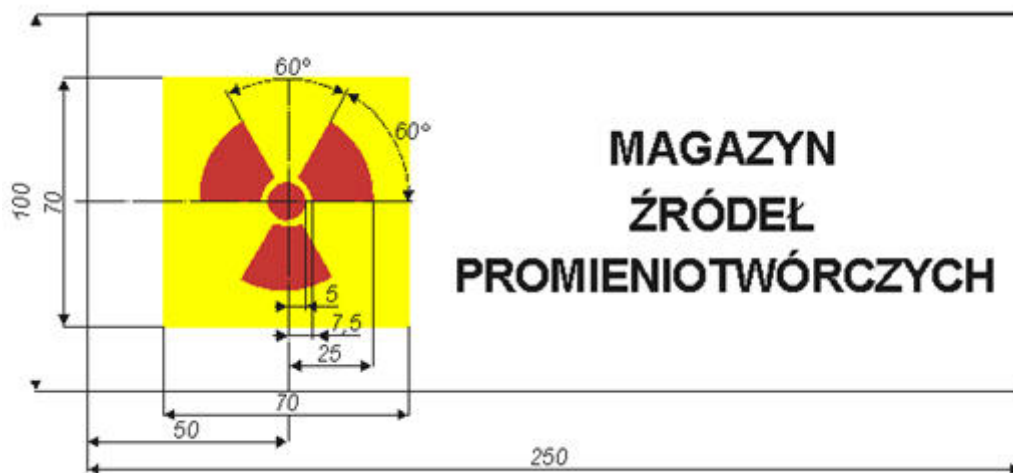


SKŁADOWISKO ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Oznakowanie **składowiska odpadów promieniotwórczych**

=== żółty kolor tła znaku, czerwony kolor znaku promieniowania ===

(Dz. U. nr 230/2002 poz. 1925)



Oznakowanie **magazynu źródeł promieniotwórczych**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)



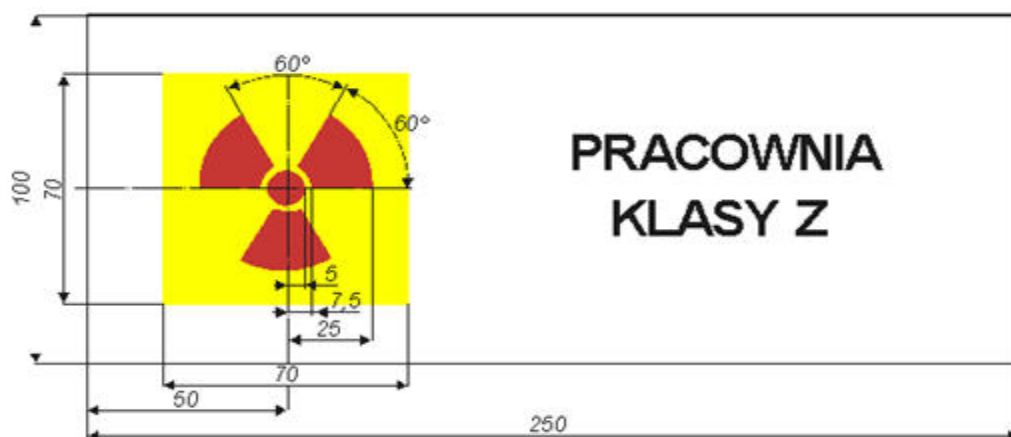
Oznakowanie **pracowni rentgenowskiej**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)



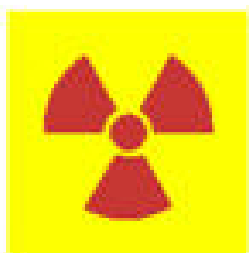
Oznakowanie **pracowni akceleratorowej**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)



Oznakowanie **pracowni źródeł zamkniętych**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)



**PRACOWNIA
KLASY I**

Oznakowanie **pracowni izotopowej klasy I**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)



**PRACOWNIA
KLASY II**

Oznakowanie **pracowni izotopowej klasy II**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)



**PRACOWNIA
KLASY III**

Oznakowanie **pracowni izotopowej klasy III**

(Dz. U. nr 140/2006 poz. 994)

7.5.1. Nowy symbol promieniowania jonizującego



Nowy symbol promieniowania jonizującego

Nowy symbol ostrzegający przed promieniowaniem jonizującym, przedstawiający promieniowanie, czaszkę i skrzyżowane kości oraz biecącego człowieka, został wprowadzony dla uzupełnienia tradycyjnego, międzynarodowego symbolu promieniowania, potrójnej koniczynki.

Ten nowy symbol, wprowadzany przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) i Międzynarodową Organizację ds. Normalizacji (ISO), ma pomóc w zmniejszaniu liczby niepotrzebnych zgonów i poważnych obrażeń na skutek przypadkowego narażenia na działanie dużych źródeł promieniotwórczych. Będzie on służyć jako ostrzeżenie dodatkowe, obok koniczynki, która nie niesie żadnych intuicyjnych znaczeń i właściwie jest rozpoznawana tylko przez osoby pouczone o jej ważności.

Nowy symbol ma ostrzegać każdego i wszędzie o potencjalnych zagrożeniach związanych ze znajdowaniem się w pobliżu dużego źródła promieniowania. Stanowi on wynik pięcioletniego projektu realizowanego w 11 krajach na całym świecie. Symbol poddano testom w różnych grupach populacyjnych - w różnym wieku, o różnym poziomie wykształcenia, mężczyzn i kobiet - dla zapewnienia, że jego przesłanie: "Zagrożenie - nie podchodzić" jest absolutnie jasne i zrozumiałe dla wszystkich.

Nowy symbol, opracowany przez specjalistów ds. tak zwanego czynnika ludzkiego (human factor), artystów grafików i specjalistów ds. ochrony radiacyjnej, był testowany przez

Instytut Gallupa w Brazylii, Meksyku, Maroku, Kenii, Arabii Saudyjskiej, Chinach, Indiach, Tajlandii, Polsce, Ukrainie i Stanach Zjednoczonych, na próbie liczącej w sumie 1650 osób.

Symbol ten jest przeznaczony dla źródeł zaliczonych do kategorii 1, 2 i 3 w klasyfikacji MAEA, zdefiniowanych jako źródła niebezpieczne, zdolne do spowodowania śmierci lub poważnych obrażeń, w tym - źródła stosowane w urządzeniach do napromieniowania żywności, aparatach do teleterapii do leczenia nowotworów oraz aparatach do radiografii przemysłowej. Symbol ten ma być umieszczany na urządzeniu zawierającym źródło, jako ostrzeżenie przed demontażem urządzenia lub zbliżaniem się na mniejszą odległość. Nie będzie widoczny podczas normalnego użytkowania urządzenia, a stanie się widoczny dopiero wtedy, gdy ktoś podejmie próbę rozmontowania urządzenia. Symbol ten nie będzie umieszczany na drzwiach w budynkach, ani na opakowaniach lub pojemnikach transportowych.

Wielu producentów źródeł planuje zastosowanie tego symbolu na nowych dużych źródłach. MAEA opracowuje strategię dotyczącą umieszczania symbolu na już istniejących dużych źródłach.

7.6. Praca z promieniowaniem - personel

Do pracy z promieniowaniem jonizującym mogą być dopuszczone osoby spełniające następujące warunki:

- wiek - 18 lat
- brak przeciwwskazań lekarskich do tego rodzaju pracy
- przeszkolenie

Osoba, która ma podjąć pracę przy źródle promieniowania jonizującego, powinna legitymować się zaświadczeniem lekarskim z wyraźnym stwierdzeniem, że „**może pracować w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące**”.

Każda osoba, która ma podjąć pracę z promieniowaniem musi przejść obowiązkowe szkolenie. Program szkolenia zależy, oczywiście, od rodzaju pracy. Powinien obejmować zasady ochrony radiologicznej i dać słuchaczowi umiejętności niezbędne do wykonywania powierzonej pracy. Każdy program należy musi być zatwierdzony przez Prezesa PAA.

Ograniczenia przy pracy ze źródłami promieniowania jonizującego:

- **Kobiety w ciąży** najczęściej odsuwa się od wszelkich prac z promieniowaniem (chodzi o narażenie dziecka, nie kobiety),
- **Kobiety karmiące** nie mogą pracować ze źródłami otwartymi z uwagi na możliwość skażeń, które mogą prowadzić do skażeń wewnętrznych,
- Dawkę graniczną obniżono też dla **uczniów, studentów i praktykantów** w wieku od 16 do 18 lat do wartości 6 mSv w ciągu roku

Obowiązki pracodawcy, który wykorzystuje źródła promieniowania jonizującego w swojej działalności:

- o zakład pracy, który zamierza korzystać ze źródeł promieniowania jonizującego, musi spełnić określone wymagania formalne i techniczne, np. **uzyskać zezwolenie** na nabycie źródeł, uruchomienie pracowni radiologicznej i prowadzenie w niej określonych prac.
- o jednym z obowiązków zakładu jest **szkolenie pracowników**. Oznacza to, że zakład opracowuje programy szkolenia na poszczególnych stanowiskach pracy, przesyła je do zatwierdzenia do Prezesa PAA, a następnie organizuje szkolenie w zakładzie lub wysyła pracowników na kurs.
- o zapewnienie pracownikom wstępnych, okresowych i kontrolnych badań lekarskich
- o zapewnienie środków ochrony indywidualnej i sprzętu dozymetrycznego
- o prowadzenie kontroli dawek indywidualnych i środowiska pracy

Jednostka organizacyjna wykorzystująca w swojej działalności źródła promieniowania jonizującego, na które wymagane są zezwolenia, musi zatrudnić Inspektora Ochrony Radiologicznej. Jest to osoba sprawująca wewnętrzny nadzór nad przestrzeganiem wymagań ochrony radiologicznej. Do głównych zadań takiego Inspektora należy:

- organizowanie (a często prowadzenie) szkoleń pracowników z ochrony radiologicznej i sprawdzanie ich kwalifikacji w tej dziedzinie,
- przeprowadzanie kontrolnych pomiarów dozymetrycznych w miejscach pracy ze źródłami,
- ustalanie dla poszczególnych stanowisk pracy wykazu środków ochrony osobistej, aparatury dozymetrycznej i wyposażenia służącego do ochrony środowiska pracy,
- występowanie do kierownika jednostki organizacyjnej z wnioskiem o wstrzymanie prac w warunkach narażenia, gdy są naruszone warunki zezwolenia lub inne przepisy z ochrony przed promieniowaniem,
- opiniowanie przepisów zakładowych związanych ze stosowaniem źródeł np. regulamin pracy, technologiczną instrukcję pracy,
- prowadzenie ewidencji m. in. źródeł promieniotwórczych, odpadów promieniotwórczych, dawek jakie otrzymali pracownicy, osób przeszkolonych,
- Inspektor Ochrony Radiologicznej powinien posiadać zbiór aktualnych przepisów państwowych, resortowych i zakładowych dotyczących stosowania źródeł promieniowania.

Jednostki organizujące wykorzystujące w swojej działalności źródła promieniotwórcze muszą prowadzić kontrolę narażenia pracowników na promieniowanie. Kontrolę taką można prowadzić na dwa sposoby:

- o prowadzić kontrolę dawek indywidualnych, czyli wyposażyć pracowników w dawkomierze i mierzyć dawki jakie otrzymują poszczególne osoby,
- o kontrolować stanowisko pracy, a więc robić pomiary mocy dawek na stanowisku pracy i na tej podstawie określać dawki jakie otrzymują ludzie, którzy tam pracują.

Pracownicy, którzy zostali zaliczeni do grupy A narażenia, muszą bezwzględnie zostać objęci kontrolą dawek indywidualnych.

Wyniki kontroli są przesyłane do **kierownika jednostki organizacyjnej**, który prowadzi ewidencję dawek.

Większość pracowników otrzymuje bardzo małe, praktycznie niemierzalne, dawki. Przyjęła się praktyka, że "brak wiadomości to dobre wiadomości". Nie podaje się wyników kontroli do wiadomości publicznej, ale są one do wglądu osoby zainteresowanej u inspektora.

Jeżeli pracownik otrzyma dawkę rzędu 0,5 dawki granicznej, przeprowadza się **postępowanie wyjaśniające**.

Osoby biorące udział w pracach prowadzonych w pracowni wyposaża się w:

- 1) środki ochrony indywidualnej właściwe dla prowadzonych prac;
- 2) akustyczne indywidualne sygnalizatory promieniowania jonizującego - w przypadku szczególnym, gdy prace prowadzone w pracowni mogą spowodować przekroczenie limitu użytkowego dawki (ogranicznika dawki) ustalonego w zezwoleniu.

7.7. Wymagania techniczne i wymagania ochrony radiologicznej dotyczące pracowni wykonujących prace z promieniowaniem.

Stopień osłabienia promieniowania jonizującego przez **ściany zewnętrzne i stropy** pracowni zapobiega otrzymaniu przez osoby z ogółu ludności w ciągu kolejnych 12 miesięcy dawki skutecznej (efektywnej) promieniowania jonizującego, związanej z prowadzeniem działalności z promieniowaniem jonizującym w pracowni, przekraczającej:

- **0,1 milisiwerta (mSv)** w przypadku pracowni zlokalizowanej w budynku mieszkalnym albo w budynku zamieszkania zbiorowego,
- **0,3 milisiwerta (mSv)** w przypadku pozostałych pracowni

- z uwzględnieniem czasu narażenia tych osób, rodzaju prowadzonych w pracowni prac i rodzaju stosowanych osłon.

Pracownię wyposaża się, zależnie od rodzaju prowadzonych prac, w:

- sprzęt dozymetryczny dostosowany do używanych źródeł promieniowania jonizującego;
- stałe lub ruchome osłony przed promieniowaniem jonizującym;
- pojemniki do przechowywania źródeł i odrębne do przechowywania odpadów promieniotwórczych;
- wentylację grawitacyjną, chyba że dla danego rodzaju lub klasy pracowni jest wymagana wentylacja mechaniczna, a jeżeli producent urządzeń zainstalowanych w pracowni tego wymaga, także w klimatyzację;
- instalację wodną i kanalizacyjną.

Należy bezwzględnie oznakować tablicami informacyjnymi:

- Wejście do pracowni
- Miejsce przechowywania źródeł promieniotwórczych
- Miejsce przechowywania odpadów promieniotwórczych

W pomieszczeniu, w którym są przechowywane źródła lub odpady promieniotwórcze, **nie przechowuje się** substancji łatwopalnych, o właściwościach wybuchowych, żrących i o właściwościach utleniających, a także gazów sprężonych.

Dokumentacja pracowni wykorzystującej źródła promieniotwórcze zawiera:

- 1) zezwolenie;
- 2) regulamin pracy, o którym mowa w Kodeksie pracy;
- 3) instrukcje pracy ze źródłami promieniowania jonizującego oraz z odpadami promieniotwórczymi, ustalające szczegółowe postępowanie w zakresie ochrony radiologicznej dla każdego rodzaju wykonywanych prac;
- 4) zakładowy plan postępowania awaryjnego;

- 5) rejestr wyników pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy;
- 6) wykaz pracowników wykonujących pracę w pracowni, z podziałem na kategorie A i B;

a w zależności od rodzaju prac prowadzonych w pracowni także:
- 7) opisy techniczne i instrukcje obsługi akceleratorów, aparatów rentgenowskich lub urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze;
- 8) instrukcję postępowania przeznaczoną dla pacjentów, którym podano substancję promieniotwórczą w celu medycznej diagnostyki lub leczenia;
- 9) instrukcje obsługi i świadectwa wzorcowania sprzętu dozymetrycznego;
- 10) ewidencję źródeł i odpadów promieniotwórczych oraz ewidencję materiałów jądrowych;
- 11) rejestr dawek indywidualnych promieniowania jonizującego otrzymanych przez pracowników.

Pracownie izotopowe lokalizuje się:

- w pomieszczeniach zabezpieczonych przed zalaniem wodą,
- w budynkach zaliczonych co najmniej do klasy D odporności pożarowej (przy czym pomieszczenia, w których są przechowywane źródła i odpady promieniotwórcze, lokalizuje się w budynkach zaliczonych co najmniej do klasy B odporności pożarowej).

W zależności od aktywności stosowanych jednocześnie izotopów promieniotwórczych i ich przynależności do grupy izotopów promieniotwórczych pracownie izotopowe z otwartymi źródłami promieniotwórczymi zalicza się do klasy III, II lub I zgodnie z Załącznikiem do Rozporządzenia.

Pracownie wykorzystujące tylko źródła zamknięte zalicza się do klasy Z. Zamknięte źródła promieniotwórcze mogą być stosowane w pracowniach izotopowych z otwartymi źródłami promieniotwórczymi.

Poniżej podana została tabelka zawierająca podział pracowni izotopowych na klasy w zależności od jednocześnie stosowanych aktywności.

TABELA – Klasy pracowni izotopowych z otwartymi źródłami promieniotwórczymi w zależności od aktywności stosowanych jednocześnie w pracowni izotopów promieniotwórczych i ich przynależności do grupy izotopów.

Grupa izotopów	Klasa pracowni		
	I	II	III
	Aktywność stosowanych jednocześnie w pracowni izotopów promieniotwórczych		
	MBq	MBq	MBq
1	powyżej 1 000	powyżej 1 do 1 000	do 1
2	powyżej 10 000	powyżej 10 do 10 000	do 10
3	powyżej 100 000	powyżej 100 do 100 000	do 100
4	powyżej 1 000 000	powyżej 1 000 do 1 000 000	do 1 000

W przypadku pracowni przeznaczonej do prac z izotopami promieniotwórczymi różnych grup izotopów klasę pracowni określa się, porównując aktywność określoną według wzoru:

$$A = A_1 + 0,1 \cdot A_2 + 0,01 \cdot A_3 + 0,001 \cdot A_4$$

gdzie: A1, A2, A3, A4 określają stosowaną jednocześnie maksymalną aktywność izotopów odpowiednio 1, 2, 3 lub 4 grupy izotopów.z

aktywnością 1 grupy izotopów przewidzianą dla poszczególnych klas pracowni.

W zależności od rodzaju wykonywanych czynności z substancjami promieniotwórczymi aktywność stosowanych jednocześnie w pracowni izotopów promieniotwórczych może być zwiększona lub zmniejszona bez zmiany klasy pracowni, poprzez pomnożenie przez współczynnik z tabeli poniżej:

Określenie czynności	Współczynnik
Magazynowanie	100
Diagnostyka lekarska	100
Bardzo proste czynności na mokro	10
Normalne czynności chemiczne	1
Skomplikowane czynności na mokro z prawdopodobieństwem rozlania i proste czynności na sucho z możliwością pylenia	0,1
Skomplikowane czynności na sucho z możliwością pylenia	0,01

7.7.1. Pracownie źródeł zamkniętych (klasy Z).

W przypadku pracowni izotopowej z zamkniętymi źródłami promieniotwórczymi oraz pracowni izotopowej z urządzeniami zawierającymi źródła promieniotwórcze (**pracownie klasy Z**) muszą być spełnione następujące warunki lokalowe:

- **powierzchnia pomieszczenia**, w którym są prowadzone prace ze źródłami promieniotwórczymi, nie może być mniejsza niż 10 m^2 , przy czym w pracowni klasy Z przeznaczonej do celów medycznych powierzchnia pomieszczenia terapeutycznego nie może być mniejsza niż 20 m^2 ;

- wielkość **wolnej powierzchni** w pomieszczeniach przeznaczonych do prac ze źródłami promieniotwórczymi nie może być mniejsza niż 5 m² na jednego pracownika wykonującego pracę w pracowni.

Wymagania dotyczące pracowni rentgenowskich:

- o Powierzchnia pomieszczenia pracowni rentgenowskiej, w którym jest zainstalowany aparat rentgenowski defektoskopowy lub inny aparat rentgenowski **o energii promieniowania powyżej 300 keV**, nie może być mniejsza niż 20 m².
- o Powierzchnia pomieszczenia pracowni rentgenowskiej, w którym jest zainstalowany aparat rentgenowski **o energii promieniowania do 300 keV**, nie może być, z zastrzeżeniem § 8, mniejsza niż 10 m², chyba że w zezwoleniu określono inaczej.
- o Wysokość pomieszczenia **weterynaryjnej pracowni rentgenowskiej**, w którym jest zainstalowany aparat rentgenowski, nie może być mniejsza niż 2,5 m, a jeżeli łączny czas przebywania w nim pracownika nie przekracza czterech godzin na dobę, nie może być mniejsza niż 2,2 m.

Wymagania dotyczące pracowni z wydzieloną sterownią (dotyczy: pracowni akceleratorowych, pracowni rentgenowskich, z wyjątkiem weterynaryjnych pracowni rentgenowskich oraz pracowni klasy Z):

- 1) wejście do pracowni wyposaża się w sygnalizację świetlną informującą o włączeniu zasilania aparatu lub akceleratora wysokim napięciem lub umieszczeniu źródła promieniotwórczego w pozycji roboczej;
- 2) geometria ustawienia osłon stałych wyklucza możliwość padania pierwotnej wiązki promieniowania jonizującego na drzwi do pomieszczenia do napromieniania;
- 3) w pomieszczeniach terapeutycznych instaluje się wentylację mechaniczną nawiewno-wyciągową zapewniającą co najmniej 6-krotną wymianę powietrza na godzinę, chyba że producent zainstalowanego źródła promieniowania jonizującego wymaga częstszej wymiany powietrza;
- 4) konstrukcja drzwi umożliwia ich otwarcie od wewnątrz i od zewnątrz pomieszczenia do napromieniania;

- 5) zapewnia się łączność głosową i wizualną między sterownią a pomieszczeniem terapeutycznym;
- 6) stosuje się system uniemożliwiający włączenie zasilania aparatu rentgenowskiego lub akceleratora wysokim napięciem przy otwartych drzwiach do pomieszczenia do napromieniania;
- 7) stosuje się system powodujący umieszczenie źródeł w pozycji ochronnej, przy otwieraniu drzwi do pomieszczenia do napromieniania (pracownie klasy Z).

Wymagania dotyczące rentgenowskich pracowni weterynaryjnych:

- Powierzchnia pomieszczenia weterynaryjnej pracowni rentgenowskiej wykonującej badania małych zwierząt, w którym jest zainstalowany aparat rentgenowski, ma zapewnić, żeby przy typowym badaniu diagnostycznym - w przypadku aparatu przenośnego lub przy zawieszanej głowicy i wiązce skierowanej w dół - źródło promieniowania znajdowało się co najmniej 1 m od najbliższej ściany.
- Powierzchnia pomieszczenia weterynaryjnej pracowni rentgenowskiej dla zwierząt większych, w którym jest zainstalowany aparat rentgenowski, ma zapewnić, żeby źródło promieniowania znajdowało się co najmniej 1,5 m od najbliższej ściany.

W urządzeniach wytwarzających promieniowanie jonizujące niewykorzystywane do celów diagnostycznych, terapeutycznych lub zastosowań naukowych i technicznych, emitowane przez lampy próżniowe wzbudzone przez napięcie przekraczające 5 kV, moc dawki tego promieniowania w odległości 0,05 m od dowolnej dostępnej powierzchni urządzenia nie może przekraczać 5 mikrogrejów na godzinę ($\mu\text{Gy/h}$).

Urządzeniami, z którymi najczęściej spotykamy się w pracowniach klasy Z, są aparaty rentgenowskie. Aparaty rentgenowskie muszą posiadać budowę zapewniającą:

- 1) ochronę przed niebezpieczeństwem urazu mogącego powstać w wyniku dotknięcia aparatu rentgenowskiego;
- 2) ochronę przed powstaniem temperatury lub łuku elektrycznego mogących spowodować niebezpieczeństwo;

- 3) możliwość zamontowania ograniczników promieniowania odpowiadających przeznaczeniu aparatu rentgenowskiego;
- 4) ograniczenie mocy dawki promieniowania przy zamkniętym okienku wiązki promieniowania i przy najwyższych parametrach eksploatacji podanych przez producenta do wartości, która nie przekracza:
 - a) $\mu\text{Gy/h}$ w odległości 0,5 m od ogniska lampy - dla aparatów rentgenowskich stosowanych do dyfrakcji promieni rentgenowskich, mikroradiografii i rentgenowskiej analizy spektralnej,
 - b) 2,5 mGy/h, dla napięcia do 200 kV włącznie, lub 10 mGy/h, dla napięcia powyżej 200 kV, w odległości 1 m od ogniska lampy - dla pozostałych rodzajów aparatów rentgenowskich;
- 5) dla aparatów rentgenowskich, w których obudowa ochronna osłania lampę rentgenowską oraz napromieniany obiekt, ograniczenie mocy dawki w odległości 0,1 m od dostępnej powierzchni obudowy do wartości, która nie przekracza:
 - a) 7,5 $\mu\text{Gy/h}$ (aparaty rentgenowskie w pełni ochronne),
 - b) 25 $\mu\text{Gy/h}$ (aparaty rentgenowskie o wysokiej ochronności).

Aparaty rentgenowskie w pełni ochronne i aparaty rentgenowskie o wysokiej ochronności wyposaża się w dwa niezależne zabezpieczenia, uniemożliwiające ich eksploatację przy otwarciu obudowy.

Aparaty rentgenowskie diagnostyczne do celów weterynaryjnych wyposaża się w:

- filtry umożliwiające filtrację nie mniejszą niż wartość równoważna 1,5 mm aluminium;
- przycisk do zdalnego wyzwalania ekspozycji zapewniający operatorowi zachowanie odległości co najmniej 2 m od ogniska lampy;
- urządzenie sygnalizujące w sposób akustyczny lub optyczny wykonanie ekspozycji; sygnalizacja ma być słyszalna i widoczna z miejsca uruchomienia wyzwalacza;
- wskaźniki natężenia prądu i napięcia na lampie rentgenowskiej;

- świetlny wskaźnik napromienianego pola, zapewniający średnie natężenie oświetlenia pola nie mniejsze niż 100 luksów w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki w odległości 1 m od ogniska, jeżeli odległość ta w normalnych warunkach pracy jest mniejsza niż 1 m.

Akcelerator terapeutyczny zapewnia:

- bezpieczeństwo pacjenta podczas leczenia;
- sygnalizację w pomieszczeniu terapeutycznym oraz w sterowni obecności w pomieszczeniu terapeutycznym wiązki promieniowania;
- kontrolę dawki promieniowania i mocy dawki promieniowania z użyciem dwóch niezależnych od siebie torów dozymetrycznych;
- zachowanie zapisu wskazań dotyczących dawki promieniowania po zakończeniu napromieniania.

Budowa akceleratora terapeutycznego zapewnia zakończenie lub przerwanie napromieniania w przypadku gdy:

- w przypadku prawidłowego przebiegu terapii promieniowaniem jonizującym system pomiaru dawki promieniowania wskazał osiągnięcie wartości dawki promieniowania ustalonej przed rozpoczęciem napromieniania;
- występuje różnica między wskazaniem niezależnych torów dozymetrycznych przekraczająca 5% tych wskazań;
- pomiar czasu napromieniania osiągnął wartość ustaloną przed rozpoczęciem napromieniania.

7.7.2. Pracownie izotopowe klasy III.

Warunki, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i wyposażenie pracowni izotopowej (źródeł otwartych) klasy III:

- 1) zapewnia się spełnienie wymagań jak dla pracowni klasy Z;

2) zapewnia się jej lokalizację w:

- a) obiekcie budowlanym, który nie jest budynkiem mieszkalnym ani budynkiem zamieszkania zbiorowego, lub
- b) wyodrębnionej, niemieszkalnej części budynku mieszkalnego lub budynku zamieszkania zbiorowego, z osobnym wejściem oraz osobnymi drogami komunikacji wewnętrznej;

3) powierzchnie robocze wykonuje się w sposób uniemożliwiający rozprzestrzenianie się skażeń promieniotwórczych oraz umożliwiający ich usuwanie;

4) jeżeli jest to konieczne ze względu na rodzaj prowadzonych prac, stanowiska pracy wyposaża się w wyciągi radiochemiczne, a także w komory rękawicowe lub inne urządzenia uniemożliwiające rozprzestrzenianie się skażeń promieniotwórczych;

5) podłogi, ściany i instalacje przygotowuje się w sposób umożliwiający usunięcie powstałych na ich powierzchniach skażeń promieniotwórczych;

6) zapewnia się wentylowanie mechaniczne pomieszczeń odrębnym systemem wentylacyjnym umożliwiającym co najmniej 3-krotną wymianę powietrza w ciągu godziny;

7) w zależności od rodzaju prowadzonych prac z otwartymi źródłami promieniotwórczymi zapewnia się:

- a) pomiar zawartości substancji promieniotwórczych w powietrzu i ściekach usuwanych z tej pracowni,
- b) zbieranie oraz przechowywanie stałych i ciekłych odpadów promieniotwórczych w specjalnych pojemnikach lub zbiornikach,
- c) oczyszczanie usuwanego z tej pracowni powietrza,
- d) wyposażenie techniczne do oczyszczania odzieży roboczej stosowanej w pracowni,
- e) podciśnienie w szczelnych komorach roboczych, wynoszące co najmniej 200 Pa (paskali) w stosunku do otoczenia.

W pracowni izotopowej klasy III nie jest dopuszczalne wykonywanie czynności, które mogłyby ułatwić wprowadzenie substancji promieniotwórczych do wnętrza organizmu, w szczególności spożywanie posiłków i palenie tytoniu.

Organizacja pracy w pracowni izotopowej klasy III zapewnia komunikację między pomieszczeniami bez konieczności wychodzenia na zewnątrz pracowni (nie ma to zastosowania do magazynu źródeł promieniotwórczych, jeśli taki znajduje się na wyposażeniu pracowni).

7.7.3. Pracownie izotopowe klasy II.

Warunki, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i wyposażenie pracowni izotopowej klasy II:

- 1) spełnienie wymagań określonych dla pracowni izotopowej klasy III;

oraz dodatkowo:

- 2) powierzchnię, z wyłączeniem służby sanitarno-dozymetrycznej i pomieszczenia do przechowywania źródeł i odpadów promieniotwórczych, nie mniejszą niż 15 m²;
- 3) wejście i wyjście przez służbę sanitarno-dozymetryczną;
- 4) wentylację mechaniczną nawiewno-wyciągową gwarantującą:
 - a) przepływ powietrza w kierunku pomieszczeń, w których istnieje większe prawdopodobieństwo powstawania skażeń promieniotwórczych,
 - b) ruch powietrza lub układ ciśnień, który zapobiega rozprzestrzenianiu się skażeń promieniotwórczych powstających na stanowiskach pracy,
 - c) wyrzut powietrza na wysokości co najmniej 1 m ponad kalenicą budynku pracowni izotopowej klasy II i budynku sąsiadującego;
- 5) oznaczenie środków ochrony indywidualnej oraz odzieży i obuwia roboczego w sposób zapobiegający użyciu ich przez osoby, którym nie zostały przydzielone, a także użyciu ich poza pracownią;

- 6) przechowywanie źródeł i odpadów promieniotwórczych w wydzielonym magazynie, o wentylacji mechanicznej nawiewno-wyciągowej zapewniającej w czasie przebywania tam pracowników co najmniej 6-krotną wymianę powietrza w ciągu godziny, przy czym włączenie wentylacji następuje co najmniej 10 minut przed wejściem pracowników do magazynu.

7.7.4. Pracownie izotopowe klasy I.

Dla pracowni izotopowych klasy I zapewnia się spełnienie wymagań określonych dla pracowni izotopowej klasy II, z tym że pracownia klasy I może być zlokalizowana tylko w obiekcie budowlanym, który nie jest budynkiem mieszkalnym ani budynkiem zamieszkania zbiorowego.

Dodatkowo źródła i odpady promieniotwórcze przechowuje się oddzielnie, w wydzielonych magazynach, o wentylacji mechanicznej nawiewno-wyciągowej zapewniającej w czasie przebywania tam pracowników co najmniej 6-krotną wymianę powietrza w ciągu godziny, przy czym włączenie wentylacji następuje co najmniej 10 minut przed wejściem pracowników do magazynu.

7.7.5. Wykorzystywanie źródeł promieniowania w terenie (poza pracownią).

Źródła promieniotwórcze, urządzenia zawierające takie źródła oraz urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące mogą być stosowane poza pracownią, jeżeli:

- 1) są zainstalowane na terenie jednostki organizacyjnej w sposób uniemożliwiający niekontrolowane narażenie osób i środowiska,
- 2) zachodzi konieczność prowadzenia prac w terenie, a ochrona radiologiczna nie wymaga zastosowania stałych osłon przed promieniowaniem jonizującym i izolowania miejsc stosowania źródeł promieniowania jonizującego od otoczenia, przy czym:
 - a) w przypadku prac wymagających stosowania otwartych źródeł promieniotwórczych, przed rozpoczęciem prac uzyskuje się zgodę właściciela

lub administratora terenu, na którym prace mają być prowadzone, oraz zawiadamia się o nich właściwego państwowego inspektora sanitarnego;

- b) w razie możliwości przekroczenia limitu użytkowego dawki (ogranicznika dawki) ustalonego w zezwoleniu osoby biorące udział w pracach wyposaża się w akustyczne indywidualne sygnalizatory promieniowania jonizującego;
- c) wszystkie czynności związane ze stosowaniem otwartych źródeł promieniotwórczych wykonuje się w obecności inspektora ochrony radiologicznej;
- d) w razie konieczności magazynowania źródeł i odpadów promieniotwórczych poza pracownią - przechowuje się je na terenie nadzorowanym zabezpieczonym na zasadach określonych w przepisach przeciwpożarowych oraz zabezpieczonym przed zalaniem wodą i dostępem osób postronnych.

7.8. Kontrola i ewidencja źródeł promieniowania jonizującego.

Kontrola źródeł promieniotwórczych obejmuje sprawdzenie, nie rzadziej niż raz na rok kalendarzowy:

- zgodności stanu źródeł z dokumentami ewidencji źródeł promieniotwórczych;
- szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych;
- warunków stosowania i przechowywania źródeł promieniotwórczych.

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 wykonano pomiary;
- wynik pomiaru;
- wyniki kontroli;
- nazwę i adres instytucji oraz imię i nazwisko osoby, która przeprowadziła kontrolę.

W jednostkach organizacyjnych prowadzących działalność w zakresie wytwarzania, przetwarzania i instalowania źródeł promieniotwórczych lub urządzeń zawierających takie źródła oraz obrotu nimi kontrolę wykonuje się na bieżąco.

Kontrolę szczelności 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.

Kontrola urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze lub wytwarzających promieniowanie jonizujące przed wprowadzeniem ich do eksploatacji obejmuje sprawdzenie zgodności parametrów urządzenia z dokumentacją techniczną, w szczególności określenie mocy dawki promieniowania jonizującego w odległości 0,1 m i 1 m od obudowy urządzenia w kierunku innym niż kierunek wiązki promieniowania wyprowadzonego z urządzenia. Wyniki ww. kontroli odnotowuje się w protokole zdawczo-odbiorczym urządzenia. Kopię protokołu zdawczo-odbiorczego kierownik jednostki organizacyjnej prowadzący kontrolę przekazuje organowi wydającemu zezwolenie.

Zasady prowadzenia ewidencji źródeł promieniowania:

1. W jednostkach organizacyjnych wykonujących działalność polegającą na wytwarzaniu i przetwarzaniu źródeł promieniotwórczych ewidencja obejmuje wyjściowe materiały promieniotwórcze oraz wyprodukowane źródła promieniotwórcze i jest prowadzona na karcie ewidencyjnej,
2. W jednostkach organizacyjnych wykonujących działalność polegającą na obrocie źródłami promieniotwórczymi, produkcji, obrocie lub instalowaniu urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze ewidencja obejmuje przychód i rozchód źródeł promieniotwórczych i jest prowadzona na karcie ewidencyjnej,

3. W jednostkach organizacyjnych wykonujących działalność polegającą na stosowaniu lub przechowywaniu źródeł promieniotwórczych lub urządzeń zawierających takie źródła ewidencja obejmuje odpowiednio stosowane lub przechowywane źródła promieniotwórcze i jest prowadzona na kartach ewidencyjnych,
4. W jednostkach organizacyjnych wykonujących działalność polegającą na transporcie źródeł promieniotwórczych, z wyłączeniem transportu wewnątrz jednostki, ewidencja obejmuje dokumenty przewozowe określone w przepisach dotyczących przewozu towarów niebezpiecznych,
5. W jednostkach organizacyjnych wykonujących działalność ze źródłami wysokoaktywnymi ewidencja tych źródeł jest prowadzona na karcie ewidencyjnej.

Wzory wszystkich kart ewidencyjnych używanych w powyższych przypadkach są określone w Załącznikach do Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 140/2006, poz. 994).

Karty ewidencyjne kierownik jednostki organizacyjnej przechowuje przez okres 5 lat od chwili zakończenia działalności ze źródłem promieniotwórczym.

Dokumenty przewozowe kierownik jednostki organizacyjnej przechowuje przez okres 3 lat od dnia zakończenia transportu źródeł promieniotwórczych.

Kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność, na której wykonywanie jest wymagane zezwolenie, sporządza ewidencję posiadanych zamkniętych źródeł promieniotwórczych według stanu na dzień 31 grudnia danego roku, na karcie ewidencyjnej oraz przesyła kopię tej karty Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki w terminie do dnia 31 stycznia roku następnego.

Kiedy należy przesłać do Prezesa PAA kopie kart ewidencyjnych?

Kierownik jednostki organizacyjnej przesyła Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki kopie kart ewidencyjnych źródeł wysokoaktywnych, z którymi prowadzi działalność:

- niezwłocznie po wejściu w posiadanie źródła;

- niezwłocznie po dokonaniu zmiany zapisu w karcie ewidencyjnej źródła;
- niezwłocznie po przekazaniu źródła innej jednostce organizacyjnej;
- niezwłocznie na żądanie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki;
- co roku w terminie do dnia 31 stycznia.

Kopie kart ewidencyjnych stanowią podstawę wpisu do rejestru, o którym mowa w art. 43c ust. 1 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe,

W przypadku zakończenia działalności przez jednostkę organizacyjną kierownik tej jednostki niezwłocznie przekazuje Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki karty ewidencyjne,

Prezes Państwowej Agencji Atomistyki przechowuje kopie kart ewidencyjnych przez okres 30 lat od dnia ich otrzymania.

ROZDZIAŁ 8

KONTROLA NARAŻENIA PRACOWNIKÓW

Zgodnie z ustawą Prawo atomowe w zakładzie, w którym pracują pracownicy narażeni na promieniowanie jonizujące powinna być prowadzona kontrola narażenia pracowników. Kontrola ta – w zależności od kategorii pracowników – prowadzona jest na podstawie pomiarów dawek indywidualnych lub pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy.

Pracownicy kategorii A podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie systematycznych **pomiarów dawek indywidualnych**, a jeżeli mogą być narażeni na skażenie wewnętrzne mające wpływ na poziom dawki skutecznej dla tej kategorii pracowników, podlegają również pomiarom skażeń wewnętrznych. Natomiast **pracownicy kategorii B** podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie **pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy**. Dla tych pracowników może być wymagana również kontrola indywidualna jeśli zezwolenie zawiera taki warunek.

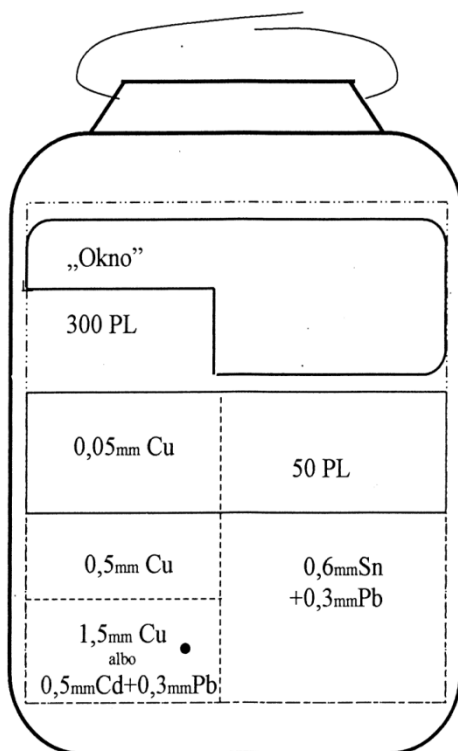
Pomiary dawek indywidualnych powinny być dokonywane przez podmioty posiadające **akredytację**. W Polsce instytucją akredytującą jest Polskie Centrum Akredytacji. PCA jest krajową jednostką upoważnioną do akredytacji między innymi laboratoriów badawczych i wzorcujących.

Obecnie w kraju kontrola dawek indywidualnych prowadzona jest głównie za pomocą detektorów fotometrycznych i termoluminescencyjnych.

Dawkomierz fotometryczny to detektor filmowy, w którym pod wpływem działania promieniowania jonizującego (podobnie jak pod wpływem promieniowania widzialnego) w emulsji fotograficznej pod wpływem procesów chemicznych wytwarza się tzw. **obraz utajony**, który po **wywołaniu i utrwaleniu** objawia się w postaci odpowiedniego zaczernienia błony.

Zaczernienie błony mierzy się za pomocą **densytometrów**, w **kilku obszarach**, **pod różnymi filtrami** modyfikującymi promieniowanie docierające do emulsji. Zaczernienie jest proporcjonalne do ilości energii promieniowania pochłoniętej przez emulsję a więc do wielkości zarejestrowanej dawki. Dzięki analizie stopnia zaczernienia błony pod różnymi filtrami można ustalić rodzaj promieniowania padającego na dawkomierz oraz w przybliżeniu

uzyskać informację o energii promieniowania. Schemat przykładowego dawkomierza fotometrycznego został przedstawiony na Rysunku 1. Detektory filmowe są detektorami jednorazowego użytku. Nie można ich zastosować ponownie.



Rysunek 1. Schemat dawkomierza fotometrycznego

Podstawową zaletą dawkomierzy fotometrycznych jest możliwość wielokrotnego odczytu zarejestrowanej dawki. Dzięki temu wywołany film może być archiwizowany jako dokument, który może posłużyć – w razie podważania poprawności odczytu – do ponownego odczytu dawki. Dlatego do niedawna w niektórych krajach europejskich jedyną – prawnie uznaną – metodą pomiaru dawek indywidualnych pracowników było stosowanie dawkomierzy fotometrycznych. Zaletami dawkomierzy fotometrycznych są również: niska cena, możliwość zastosowania jednego detektora do pomiaru dawki od większości rodzajów promieniowania fotonowego, beta i neutronów a także dzięki powstawaniu na wywołanym

obrazie cieni uzależnionych od energii i kierunku padania promieniowania film może być wykorzystany do analizy okoliczności związanych z otrzymaną dawką.

Do wad dawkomierzy fotometrycznych możemy zaliczyć konieczność osłaniania przed światłem widzialnym i ciepłem, zależność wskazań od kąta padania promieniowania, zależność wskazań dawkomierza od energii promieniowania w zakresie małych energii fotonów, krótki czas użyteczności (kilka miesięcy dla czułych emulsji), zadymienie (możliwe zaczerzenie pod wpływem ciepła, ciśnienia i chemikaliów).

Jak już wspomniano wcześniej w dozymetrii indywidualnej powszechnie stosowane są również dawkomierze termoluminescencyjne. Wykorzystuje się w nich zjawisko termoluminescencji. Termoluminescencja to zjawisko emisji światła występujące w wyeksponowanych na promieniowanie jonizujące substancjach po ich podgrzaniu do pewnej temperatury, zwykle nieprzekraczającej kilkuset stopni Celsjusza. Ilość emitowanego światła jest w pewnym zakresie proporcjonalna do pochłoniętej przedtem dawki. Dzięki specjalnym domieszkom oraz defektom w siatce krystalicznej w substancjach tych powstają tzw. pułapki, w których chwywane są elektrony będące wynikiem napromienienia detektora. Elektrony te znajdują się wówczas na metastabilnym poziomie energetycznym. Poprzez ogrzanie detektora elektrony wydostają się z pułapek na wyższy poziom energetyczny skąd przechodzą do stanu podstawowego emitując fotony światła widzialnego. Natężenie światła mierzy się za pomocą fotopowielacza. Całkowita energia wyemitowanego światła jest proporcjonalna do energii promieniowania pochłoniętej w dawkomierzu termoluminescencyjnym.

Urządzenie do odczytu detektorów TLD zwane „czytnikiem termoluminescencyjnym” składa się z komory, w której w sposób kontrolowany wygrzewa się detektory do wymaganej temperatury, układu fotopowielacza, który rejestruje emitowane przez dawkomierz światło wzmacniając go oraz przetwarzając na impulsy prądowe, które są następnie zliczane przez układ rejestrujący.

Prezentacja odpowiedzi detektora TLD ma zazwyczaj formę zależności częstości zliczeń w funkcji czasu, co w przypadku liniowego narastania temperatury odpowiada zmianie energii emitowanego światła w funkcji zmiany temperatury wygrzewania. Zależność taka nazywana jest krzywą wyświecania lub krzywą temperaturową. Rysunek 2 pokazuje przykład takiej krzywej wyświecania.

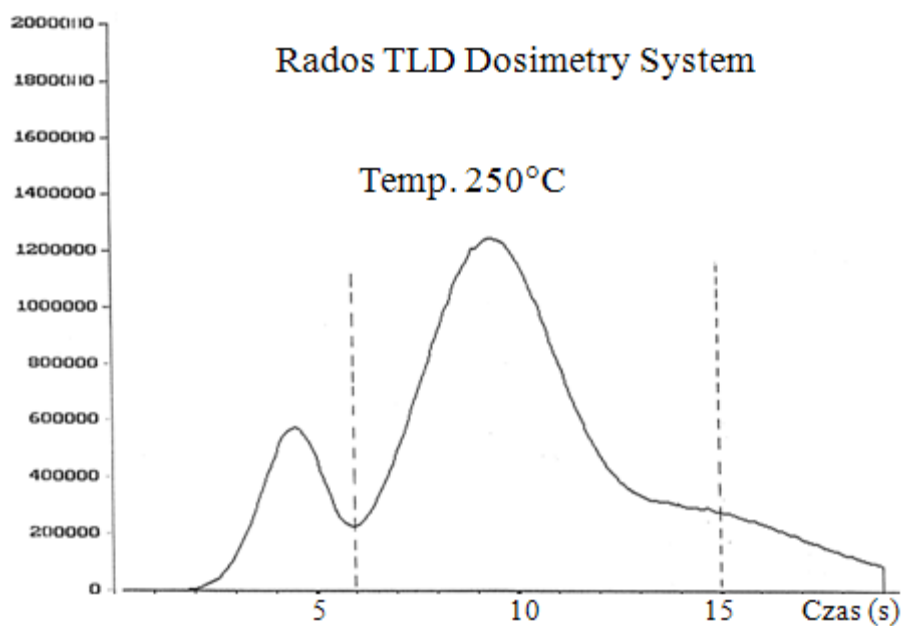
By dawkomierz termoluminescencyjny mógł być użyty ponownie trzeba poddać go procesowi **anilacji** polegającemu na wygrzaniu dawkomierza w wysokiej temperaturze, w celu wyczyszczeniu tzw. sygnałów reszkowych.

Wśród materiałów termoluminescencyjnych najczęściej stosowanymi są: LiF, CaF₂, CaSO₄ domieszkowane różnymi aktywatorami.

Do zalet dawkomierzy termoluminescencyjnych można zaliczyć:

- długi czas użytkowania
- płaska charakterystyka energetyczna (mała zależność wskazań od energii promieniowania)
- krótki czas odczytu dawki
- możliwość wielokrotnego zastosowania
- możliwość zastosowania do pomiaru bardzo dużych dawek promieniowania
- trwałość detektorów
- niezależność wskazań od kąta padania promieniowania

Rysunek 2. Krzywa wyświecania detektora TLD (przykład)



Wadami dawkomierzy termoluminescencyjnych są:

- wysoka cena dawkomierzy i wyposażenia niezbędnego do odczytu
- zanik sygnału w czasie tzw. fading
- konieczność zastosowania kilku typów detektorów przy rejestracji różnych rodzajów promieniowania
- utrata informacji po odczycie dawki

Poza opisanymi wyżej metodami kontroli dawek indywidualnych można jeszcze wymienić inne, w których stosowane mogą być detektory śladowe (np. w dozymetrii radonu), elektroniczne lub radiofotoluminescencyjne.

ROZDZIAŁ 9

OCENA DAWEK OD ŚRODOWISKA NATURALNEGO

9.1. Wprowadzenie

Odkrycie Wilhem K. Roentgena w 1895 roku niewidzialnego promieniowania X, a w kilka miesięcy później Antoine Henri Becquerela równie tajemniczych i przenikliwych "promieniach uranowych", zapoczątkowało nowy etap historii człowieka, etap o tak kluczowym znaczeniu, jak opanowanie ognia przez człowieka (500 000 lat temu). Natomiast dzisiaj, z perspektywy tych stu kilkunastu lat, gdy opinie o promieniowaniu jonizującym wahały się między idealistyczną aprobatą lub całkowitym odrzuceniem, wydaje się, że odkrycie nowego promieniowania i zjawiska radioaktywności oraz nowych bardziej wydajnych i „czystych” źródeł energii, wciąż czeka na całkowitą akceptację społeczną i kulturową i na zniknięcie często irracjonalnych uprzedzeń do „niewidzialnych promieni oraz nowych źródeł energii. „Lęk przed wielkimi dawkami promieniowania, takimi jakie pojawiłyby się w polu rażenia broni jądrowej, lub jakie otrzymali operatorzy zniszczonego reaktora czarnobylskiego, jest oczywiście słuszny. Natomiast powszechny strach przed małymi dawkami, takimi jakie ludzie w Polsce otrzymali od opadu czarnobylskiego jest równie nieuzasadniony jak obawa, że temperatura 20°C może nam zaszkodzić, ponieważ przy 200°C powstają oparzenia trzeciego stopnia” (Jaworowski , Z, (1997) . Mówiąc o małych dawkach, mamy na myśli poziomy tzw. naturalnej dawki promieniowania, której bez przerwy przez całe życie poddawane są wszystkie żywe organizmy. Dawka ta pochodzi od naturalnych radionuklidów zawartych w wodzie, minerałach, glebie i w naszym własnym ciele a także od promieniowania kosmicznego. Jesteśmy bowiem zanurzeni w morzu jonizującego promieniowania, które przenika biosferę, wewnątrz Ziemi i cały Wszechświat. Odkryto je dość późno, lecz było ono z nami zawsze. Traktowanie tego właśnie promieniowania jako zasadniczo różnego od innych znanych form emisji energii nie jest uzasadnione, ponieważ napromieniowanie jest jednym z najmniej szkodliwych czynników, jakie spotykamy w biosferze. Co więcej tzw. roczna dawka promieniowania naturalnego zmienia się znacząco w zależności od miejsca na Ziemi. Na przykład dla mieszkańca Polski wynosi około 3.5 mSv na rok, dla mieszkańców Norwegii (5 mSv/rok), w Finlandii (7.5 mSv/rok). Są też miejsca na świecie, gdzie dawka jest 10 razy większa a nawet sięga wartości 100 razy większych, np. stan Kerala w Indiach (28 mSv/rok), niektóre rejony Iranu(42 mSv/rok) , a w mieście Ramsar

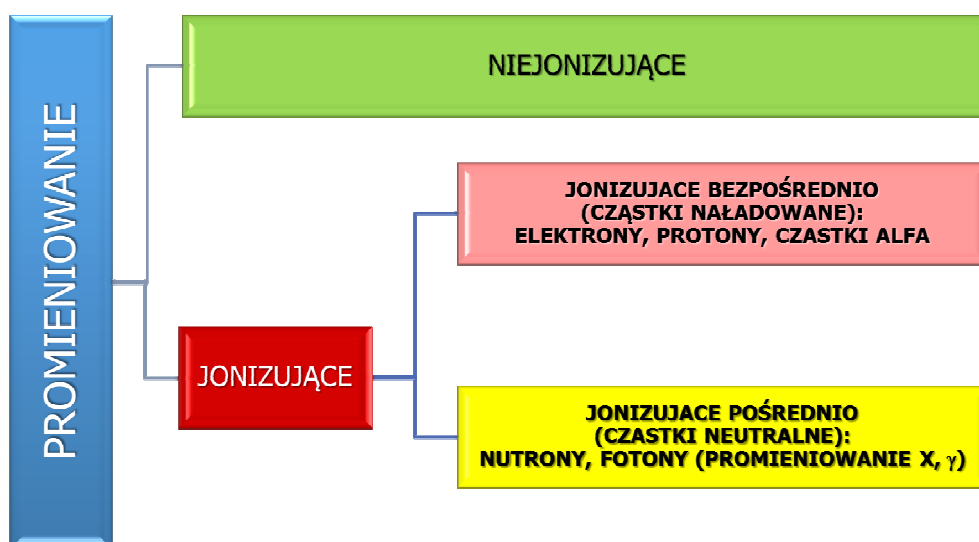
grupa mieszkańców otrzymuje średnią naturalną dawkę roczną promieniowania wynoszącą 240 mSv/rok. Mieszkańcy ci nie wykazują zwiększonej zachorowalności na nowotwory i inne dolegliwości, a niektórzy osiągnęli wiek 110 lat (Jaworowski , Z, (1997)).

9.2. Charakterystyka promieniowania jonizującego

Zgodnie z definicją z WIKIPEDII: „Promieniowanie to strumień cząstek lub fal wysyłanych przez ciało”, natomiast promieniowanie jonizujące to: promieniowanie fal elektromagnetycznych wysokich energii lub strumień cząstek.

Przykłady promieniowania jonizującego:

- promieniowanie rentgenowskie (promienie Roentgena, promienie X),
- promieniowanie gamma – promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane np. przez jądra atomów,
- promieniowanie korpuskularne (strumień cząstek)
- promieniowanie beta - strumień elektronów lub pozytonów powstających z rozpadów beta
- promieniowanie alfa – strumień jąder atomów helu
- promieniowanie naturalne - promieniowanie radionuklidów zawartych w środowisku naturalnym,
- promieniowanie kosmiczne,
- promieniowanie jąder – promieniowanie wysyłane przez wzbudzone jądra atomowe,
- promieniowanie jądrowe – strumień cząstek lub promieniowanie elektromagnetyczne wytwarzane podczas przemian jąder atomowych,



Rysunek 1. Podstawowa klasyfikacja promieniowania

Tabela 1. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski.

ŹRÓDŁO	Dawka[μ Sv]	Procent
radon Rn-222	1360	40.60%
diagnostyka medyczna	850	25.40%
promieniowanie gamma	450	13.40%
promieniowanie kosmiczne	290	8.70%
skażenie wewnętrzne	280	8.40%
Toron	66	2.00%

9.3. Promieniowanie kosmiczne i powstawanie radionuklidów w atmosferze

Do górnych warstw atmosfery przenika strumień silnie zjonizowanych i obdarzonych wielką energią cząstek elementarnych, składający się głównie z protonów (wg różnych źródeł 86÷93%), w mniejszym stopniu jąder ^4He (6 ÷ 12%) oraz jąder cięższych ($Z \geq 3$; ~1%) i elektronów (~2%) [7,9,10]. Strumień ten nazywamy pierwotnym promieniowaniem kosmicznym a jego największą część stanowią cząstki pochodzenia galaktycznego, przyspieszone do energii w zakresie $10^9 - 10^{20}$ eV, poza tym niewielki tylko wkład wnosi promieniowanie słoneczne, składające się z protonów i jąder ^4He o energiach dochodzących do 10^8 eV. Do powierzchni Ziemi docierają tylko nieliczne cząstki promieniowania pierwotnego. W wyniku zderzeń cząstek promieniowania pierwotnego z jądrami atomów azotu, tlenu i argonu zawartymi w cząsteczkach gazów atmosferycznych,

zachodzą tzw. reakcje kruszenia¹³ (spalacji) tych jąder i tworzą się nowe cząstki elementarne o energiach rzędu dziesiątek i setek MeV, tzw. wtórne promieniowanie kosmiczne: protony, neutrony, mezony π , lekkie jądra (^2H , ^3H , ^4He) oraz fotony. Niektóre z tych cząstek docierają do powierzchni Ziemi i w zależności od swej energii absorbowane są na głębokościach od kilku cm do nawet 1 km. Intensywność strumienia tych cząstek zależy od wysokości (grubości warstwy atmosfery) i od szerokości geograficznej (Tabela 2). [7,9,10].
http://hep.fuw.edu.pl/ZCiOF/II_Pracownia/P3/HTML/index/21%20promieniowanie.htm

Tabela 2. Natężenie promieniowania kosmicznego w pobliżu powierzchni morza

Całkowite natężenie	Składowa twarda (mionowa 71%)	Składowa miękka (elektrony 28%) ¹⁴
2.4×10^{-2}	1.7×10^{-2}	0.7×10^{-2}

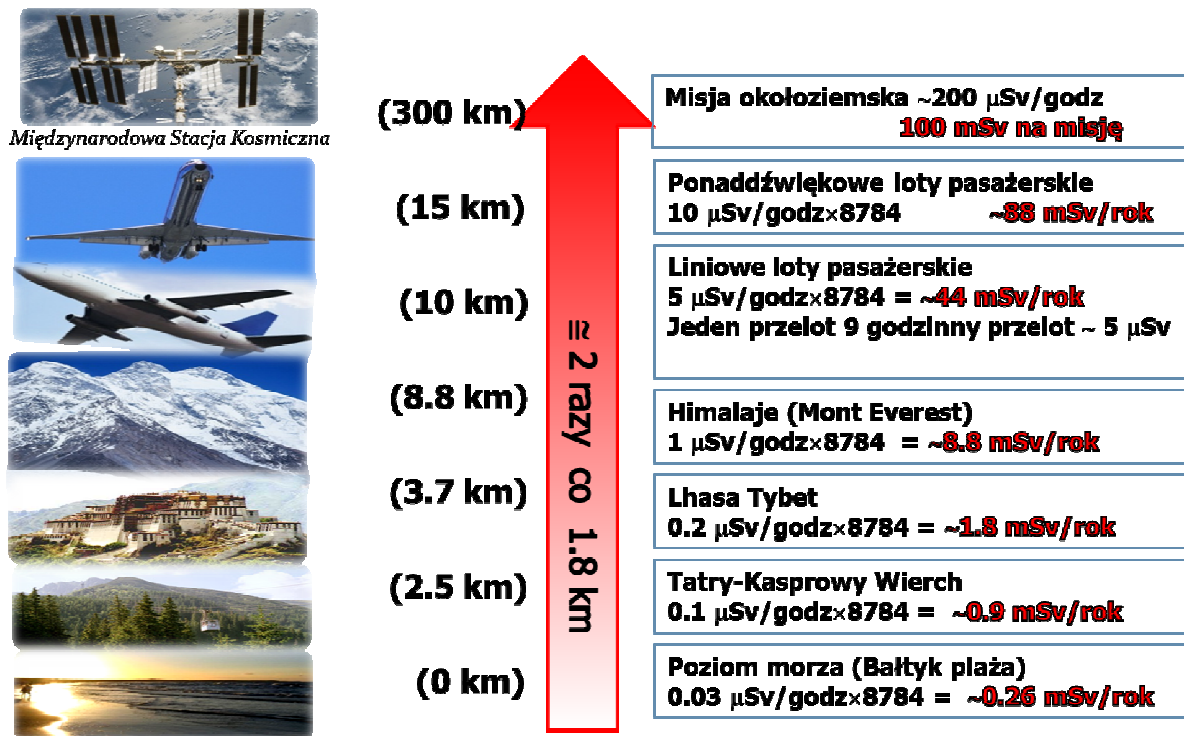
Udział promieniowania kosmicznego w średniej dawce całkowitej jest niewielki (8%) i nie jest ono niebezpieczne dla ludzi żyjących na Ziemi, natomiast za grupę ryzyka zawodowego objętą kontrolą dozymetryczną został uznany personel latający towarzystw lotniczych [6,10]. Dodatkowa średnia roczna dawka załóg samolotów dalekiego zasięgu wynosi około $3 \div 5$ mSv [10] lub przy ponaddźwiękowych lotach pasażerskich dochodzi nawet do 10 mSv¹⁵ [6]. Na większe dawki od promieniowania kosmicznego narażeni są kosmonauci uczestniczący w długich podróżach pozaziemskich [5,7].

¹³ reakcja kruszenia jądra (spalacja)- rozbić jądra atomowego na wiele fragmentów., np. wysokoenergetycznymi protonami.

¹⁴ pozostałą część stanowią nukleony

¹⁵ Trzykrotna dawka średnia mieszkańca Polski

WZROST DAWKI OD PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO Z WYSOKOŚCIĄ



Rysunek 2. Przykładowe dawki od promieniowania kosmicznego

9.3.1. Radionuklidy kosmogeniczne

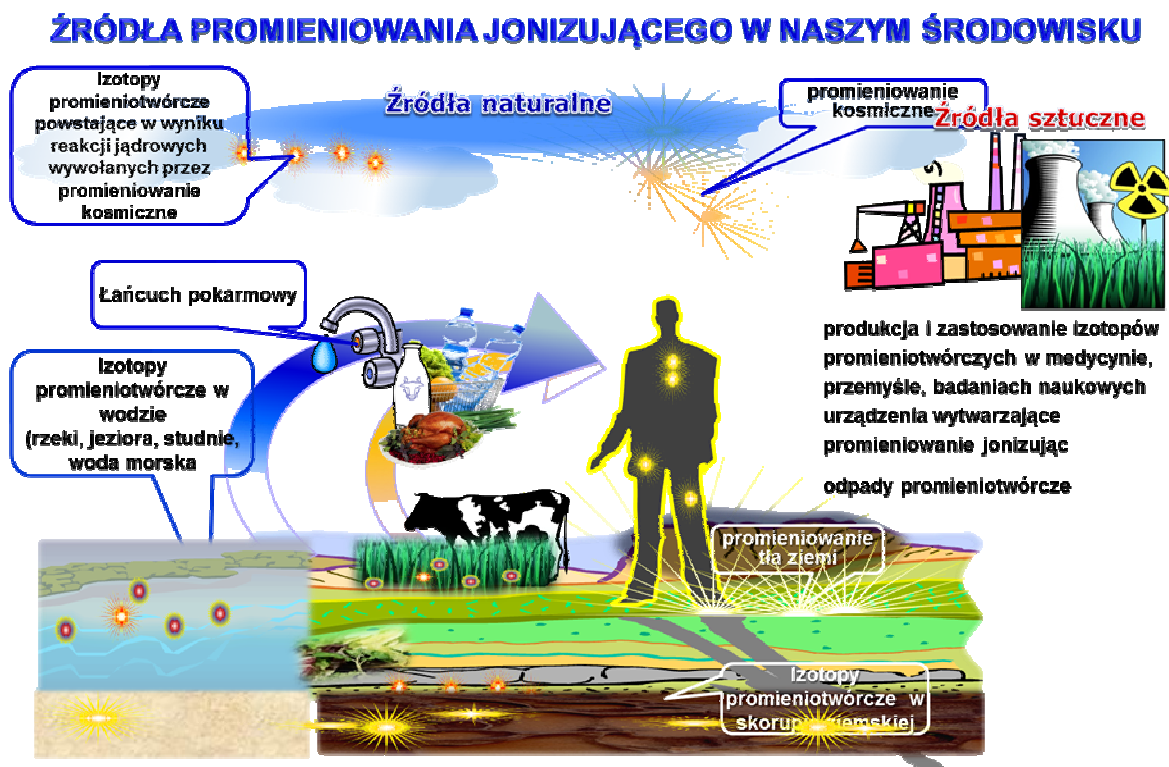
Silny strumień wysokoenergetycznych neutronów, protonów oraz jąder ^2H , ^3H i ^4He wtórnego promieniowania kosmicznego, inicjuje kolejne reakcje jądrowe z atomami gazów obecnych w atmosferze, głównie z azotem w cząsteczkach N_2 i z gazami szlachetnymi (Ar, Kr), w wyniku tych reakcji powstają radionuklidy kosmogeniczne (Tabela 3). Do najważniejszych radionuklidów kosmogenicznych zalicza się długożyciowy izotop węgla ^{14}C , głównie ze względu na jego udział w procesie fotosyntezy (w postaci $^{14}\text{CO}_2$), co powoduje znaczącą obecność ^{14}C w materiałach biologicznych, również w ciele człowieka. Na podstawie pomiaru względnej zawartości ^{14}C w próbce zawierającej składniki organiczne można określić, jaki jest wiek materiału, co stało się to podstawą wykorzystania tego radionuklidu do datowania obiektów archeologicznych.

Badanie zachowania się w środowisku śladowych ilości radionuklidów, zwłaszcza naturalnych, pochodzenia kosmicznego i ziemskiego, ale i sztucznych, wprowadzonych do środowiska w wyniku działalności człowieka, umożliwia badanie i modelowanie różnorodnych procesów środowiskowych. Na przykład badanie dystrybucji kosmogenicznego

³²P umożliwia zbadanie obiegu fosforu w ekosystemie []. Pomiar zawartości trytu w próbkach wody pozwala nie tylko na określenie ich wieku, t.j. czasu, jaki upłynął od zmieszania wód podziemnych z powierzchniowymi, ale także np. na rozróżnienie i zbilansowanie zanieczyszczeń wód gruntowych wodami kopalnianymi.

Radionuklid	Czas połowicznego zaniku $T_{1/2}$ (w latach)	Reakcja tworzenia
^3H	12,3	$^{14}\text{N}(n, ^3\text{H})^{12}\text{C}$
^7Be	0,146	kruszenie ^{14}N
^{10}B	$1,5 \times 10^6$	kruszenie ^{14}N
^{14}C	5730	$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$
^{22}Na	2,6	kruszenie ^{40}Ar
^{26}Al	$7,2 \times 10^5$	kruszenie ^{40}Ar
^{32}Si	172	kruszenie ^{40}Ar
^{32}P	0,039	kruszenie ^{40}Ar

Tabela 3. Wybrane radionuklidy kosmogeniczne



Rysunek 3. Różne drogi ekspozycji człowieka od źródeł promieniowania jonizującego w środowisku

9.4. Radionuklidy w środowisku naturalnym, żywności i w organizmie człowieka

Narażenie człowieka na promieniowanie jonizujące można określać się jako sumę dawek od ekspozycji zewnętrznej (kiedy źródło promieniotwórcze znajduje się poza ciałem człowieka) np. promieniowanie kosmiczne, promieniowaniem tła ziemskiego oraz od ekspozycji wewnętrznej (kiedy substancje promieniotwórcze znajdują się w ciele człowieka) (Rysunek 3). Narażenie wewnętrzne wynika głównie z obecności w środowisku radionuklidów, zarówno naturalnych, jak i sztucznych. Do organizmu człowieka radionuklidy dostają się głównie przez łańcuchy pokarmowe, ale również i na drodze inhalacji (radon, polon, pluton) [Hryniewicz, A., (1993)]. Działalność przemysłowa (przemysł wydobywczy, spalanie kopalin, produkcja i stosowanie sztucznych nawozów fosforowych itp.) powoduje uwalnianie i rozprzestrzenianie w środowisku radionuklidów naturalnych [Bem, H., (2005)], skąd mogą przejść do łańcucha pokarmowego i wnikać do organizmu człowieka.

9.4.1. Przykładowe poziomy pierwiastków promieniotwórczych w środowisku

Stężenia radionuklidów naturalnych w glebach polskich są umiarkowane; np. zawartość ^{226}Ra waha się od 4 do ponad 120 Bq/kg, ^{210}Pb od 8 do 90 Bq/kg, a średnia zawartość ^{40}K jest rzędu 400 Bq/kg. Podwyższone stężenia ^{226}Ra w wodach górnej Wisły, są wynikiem działalności przemysłu wydobywania węgla kamiennego na Górnym Śląsku, a w Nysie Łużyckiej i środkowej Odrze – prawdopodobnie przemysłu miedziowego. Zawartość trytu w wodach powierzchniowych w roku 1998 wynosiła średnio 1,5 Bq/m³ -około trzykrotnie więcej niż przed próbami wybuchami jądrowymi. Średnie roczne stężenia radionuklidów w aerozolach atmosferycznych w r. 1997 wynosiły: ^{226}Ra -10 μBq/m³, ^{210}Pb - 430 μBq/m³, ^{137}Cs -1,6 μBq/m³.

Średnie skażenie gleby sztucznym radionuklidem ^{137}Cs w warstwie powierzchniowej wynosiło w roku 1990 5 kBq/m², a w 2007 – 2,5 kBq/m². Stężenia ^{137}Cs w osadach dennych są wyższe w tych rejonach, w których depozycja tego radionuklidu po awarii czarnobylskiej była większa. W kolejnych latach po awarii czarnobylskiej stężenie ^{137}Cs zanika z czasem

połowicznego rozpadu w przybliżeniu równym czasowi fizycznego rozpadu tego radionuklidu¹⁶.

Średnie stężenia ¹³⁷Cs w mleku w Polsce w latach 2000- 2010 wynosiły 0,6 Bq/dm³ i praktycznie nie zmieniały się od ośmiu lat, a średnie stężenia naturalnego ⁴⁰K były równe 43 Bq/dm³. Średnie stężenia ¹³⁷Cs w produktach żywnościowych (mięso, ryby, drób, warzywa) w tym samym okresie 2000 – 2010 wynosiły od 0,6 do 1 Bq/kg i były znacznie niższe od norm UE (600 Bq/kg dla produktów żywnościowych oraz 370 Bq/kg dla mleka i jego przetworów). Zawartość ²²⁶Ra w produktach żywnościowych kształtuje się przeważnie na poziomie poniżej 0,4 Bq/kg, tylko w niektórych produktach roślinnych jest większa niż kilkanaście Bq/kg. Wyjątkiem są orzeszki brazylijskie, w których zawartość radu przekracza 500 Bq/kg Bem., H., (2005).

Tabela 4. Średnie roczne wchłonięcia z pożywieniem naturalnych izotopów promieniotwórczych szeregów uranu i toru, Bq

Izotop	238U	234U	232Th	230Th	228Th	226Ra	210Pb	210Po
Wchłonięcie	6,1±0,5	8,4±2,3	1,1±0,1	1,7±0,3	4,9±1,1	18,6±1,5	43,4±7,8	44±11

1. Średnie roczne wchłonięcia radionuklidów naturalnych przez dorosłych mieszkańców Polski, obliczone na podstawie wartości stężeń radionuklidów w artykułach żywnościowych i statystycznych danych o spożyciu, przedstawia tabela wyżej [Myasoedov, B. F., Drozhko, E. G. Alloys Comp., 271-273 (1998) 216-220, (b) Romanov, G. M. Drozhko, G., Postępy Techniki Jądrowej, 39 (1996) 30-40.
2. Narbutt, J., (2007), Długoletni Program Szkoleniowy w Zakresie Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej, Rozdział 4:Radionuklidy w przyrodzie część, Pierwiastki i izotopy promieniotwórcze

Pietrzak-Flis, Z., (1999)]. Wartości te na ogół nie odbiegają od wchłonięć obserwowanych w innych krajach. Wynikające z tych wchłonięć roczne dawki skuteczne wynoszą $90,0 \pm 15 \mu\text{Sv}$, z czego do 90% powodują dwa najbardziej toksyczne radionuklidy, ²¹⁰Po i ²¹⁰Pb. Radionuklidy te trafiają do atmosfery jako produkty rozpadu radonu (p. niżej), opadają na powierzchnię Ziemi wraz z deszczem, śniegiem i pyłami atmosferycznymi i kumulują się w częściach naziemnych roślin, w tym również tytoniu, gdzie stężenie ²¹⁰Po sięga $10 \div 100 \text{ Bq/kg}$. Temperatura żarzącego się tytoniu podczas palenia papierosów jest

¹⁶ W skutek działania różnych procesów fizycznych i chemicznych, jak np. przechodzenie cezu w formę rozpuszczalną a następnie wymywanie z gleby lub z osadu i migracja w głąb, obserwuje się w środowisku czas zaniku ¹³⁷Cs jest mniejszy niż czas połowicznego rozpadu tego radionuklidu.

znacznie wyższa od temperatury sublimacji związków ołowiu i polonu, tak więc radionuklidy te prawie całkowicie odparowują z tytoniu do dymu i przedostają się do dróg oddechowych.

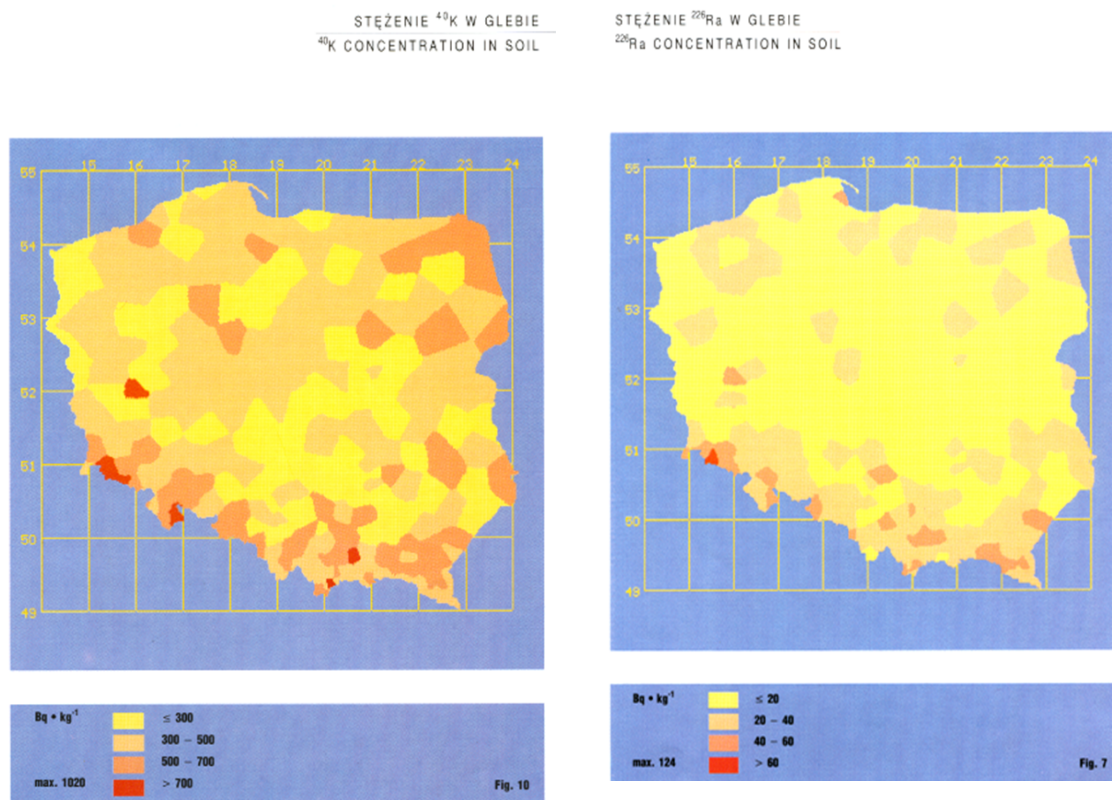
Ilość ^{210}Po w dymie papierosowym, który dostaje się do układu oddechowego palacza po wypaleniu 2 paczek papierosów wynosi od 40 do ponad 400 mBq. Cząstki alfa emitowane z ^{210}Po , penetrujące tkankę na głębokość około 40 μm , są źródłem wysokiej dawki radiacyjnej w komórkach nabłonka tchawicy i oskrzeli. Pomiar zawartości polonu w tkankach płuc palaczy wskazuje, że jest on ważnym elementem inicjującym raka oskrzela. Doniesiono, że całkowita dawka od ^{210}Po w płucach niektórych palaczy zmarłych na raka płuc przekraczała 10 Sv [3]. Z przeprowadzonych w Polsce badań epidemiologicznych wynika, że palenie jest przyczyną 80 -90% przypadków raka płuc u mężczyzn i 60 ÷ 80% u kobiet. U palaczy ryzyko zgonu wywołane nowotworami złośliwymi jest siedmiokrotnie większe niż u niepalących, a z powodu raka płuc aż trzydziestokrotnie większe.

Tabela 5. Naturalne radionuklidy zawarte w ciele tzw. standardowego człowieka” o wadze 70 kg oraz podstawowe charakterystyki emitowanego promieniowania

Nuklid	Aktywność całkowita, kBq	Typ i energia rozpadu, keV	Energia średnia $\langle E_{\beta} \rangle$, keV	Średni zasięg w tkance, μm
^3H	0,07	β : 19	5	0,5
^{14}C	3,1	β : 156	49	39
^{40}K	4,4	β (89%): 1312	540	1600
		γ (11%): 1461	-	duży
^{87}Rb	0,6	β : 274	82	95
^{210}Po	~0,04	α : 5304	-	40

Dawka skuteczna spowodowana promieniowaniem radionuklidów znajdujących się w ciele człowieka (tabela wyżej) wynosi rocznie około 0,3 ÷ 0,4 mSv, co stanowi około 8% dawki całkowitej. Największy udział, rzędu 0,2 mSv/rok, wnosi w nią naturalny długożyciowy ($T_{1/2} = 1,27 \times 10^{10}$ lat) izotop ^{40}K (zawartość w potasie: 0,012%; 31 Bq/g).

Ciało ludzkie zawiera przeciętnie od 100 do 200 g potasu. Wysoka energia promieniowania β nuklidu ^{40}K jest czynnikiem decydującym o wielkości dawki. Izotop ^{14}C (zawartość w węglu $\sim 10^{-10}\%$; 0,2 Bq/g) ma tak małą energię rozpadu β^- , że jego wkład w dawkę całkowitą jest dużo mniejszy (rzędu 0,02 mSv/rok), mimo iż jego sumaryczna aktywność w ciele człowieka jest porównywalna z aktywnością ^{40}K (wynika to z 23% zawartości węgla w ciele i ze znacznie krótszego w porównaniu z ^{40}K okresu połowicznego zaniku ^{14}C , $T_{1/2} = 5730$ lat). Skażenia wewnętrzne radionuklidami sztucznymi, zwłaszcza ^{137}Cs (pochodzenia Czarnobylskiego) i ^{90}Sr (pochodzący głównie z próbnych wybuchów jądrowych w atmosferze), wnoszą na ogół pomijalnie mały wkład w wielkość dawki całkowitej.



Rysunek 4. Rozkład stężeń potasu ^{40}K oraz ^{226}Ra w Polsce

9.5. Radionuklidy naturalne w skorupie ziemskiej – szeregi promieniotwórcze

9.5.1. Powstawanie radionuklidów naturalnych

Według teorii kosmogenezy, w procesach nukleosyntezy¹⁷ w gwiazdach powstają pierwiastki chemiczne. W trakcie formowania się układu słonecznego, w skorupie ziemskiej oprócz nuklidów trwałych, przetrwały do dziś tylko te pierwiastki promieniotwórcze, których okres połowicznego zaniku jest porównywalny z wiekiem Ziemi ($\sim 4,5 \times 10^9$ lat). Znanych jest około 33 takich radionuklidów, z których takie radionuklidy jak: ^{40}K ($1,28 \times 10^9$ lat), ^{87}Rb ($4,8 \times 10^{10}$ lat), ^{187}Re ($4,4 \times 10^{10}$ lat), ^{147}Sm ($1,1 \times 10^{11}$ lat) rozpadają się do nuklidów trwałych (Tabela 7), oraz mające szczególne znaczenie, długożyciowe izotopy uranu i toru: ^{238}U ($4,5 \times 10^9$ lat), ^{235}U (7×10^8 lat) i ^{232}Th ($1,4 \times 10^{10}$ lat). Te trzy radionuklidy zapoczątkowują trzy szeregi krócej żyjących produktów rozpadów α i β kolejnych radionuklidów pochodnych (Tabela 8). Wszystkie radionuklidy pochodne występują w środowisku przeważnie w stanie wiekowej równowagi promieniotwórczej¹⁸ z radionuklidem macierzystym. Ponieważ, rozpad α zmniejsza liczbę atomową Z nuklidu o dwie a jego liczbę masową A o cztery jednostki, natomiast rozpad β zwiększa wartość Z o jeden, a wartość A pozostawia niezmienną, tak więc zgodnie z regułą przesunięć, teoretycznie mogą istnieć cztery szeregi promieniotwórcze, których poszczególne elementy mają liczby masowe wyrażone wzorami od $A = 4n$ do $A = 4n+3$, gdzie n jest liczbą całkowitą. W środowisku istnieją tylko trzy szeregi promieniotwórcze, tzw. szereg torowy $4n$ (^{232}Th), szereg uranowy $4n+2$ (^{238}U) i szereg aktynowy $4n+3$ (^{235}U) (

Rysunek 5, Rysunek 6). Każdy z wyżej wymienionych szeregów kończy się na innym trwałym izotopie ołowiu (Tabela 8). Niektóre radionuklidy należące do tych szeregów, np. ^{212}Bi z szeregu torowego, rozpadają się (z różną wydajnością) na dwóch drogach tworząc rozgałęzienia w szeregu (Rysunek 6). Najważniejszym elementem szeregu aktynowego $4n+3$, jest jego nuklid macierzysty – rozszczepialny izotop ^{235}U . Szereg ten zawiera izotopy wszystkich kolejnych pierwiastków od uranu do talu, choć aktywności krótkożyciowych radionuklidów ^{223}Fr i ^{219}At są zupełnie bardzo małe. Szereg ten zawiera również najdłuższe izotopy protaktynu i aktynu: ^{231}Pa ($3,3 \times 10^4$ lat) i ^{227}Ac (21,8 lat). Czwarty szereg promieniotwórczy, $4n+1$, nie występuje w środowisku ponieważ jego prekursor, radionuklid

¹⁷ Nukleosynteza jest procesem, w którym powstają nowe jądra atomowe w wyniku łączenia się nukleonów czyli protonów i neutronów lub istniejących już jąder atomowych i nukleonów.

¹⁸ Procesy fizyczne lub chemiczne jak np. wymywanie rozpuszczalnych związków, akumulacja radionuklidu w materiale biologicznym mogą zakłócić ta równowagę.

^{237}Np posiada zbyt krótki czas połowicznego zaniku ($T_{1/2} = 2,14 \times 10^6$ lat) w porównaniu z wiekiem Ziemi¹⁹.

9.5.2. Występowanie

Występowanie w przyrodzie radionuklidów naturalnych, których okres połowicznego zaniku jest znacznie krótszy od wieku Ziemi (4.5×10^9 lat), w tym również nuklidów o czasie połowicznego zaniku ($T_{1/2} < 1$ roku) jest możliwe gdy nuklidy te należą do jednego z opisanych wyżej szeregów promieniotwórczych, lecz także wtedy, gdy radionuklidy te, np. ^3H , ^{14}C i inne, tworzą się w sposób ciągły w atmosferze w wyniku reakcji jądrowych spowodowanych promieniowaniem kosmicznym.

Największe aktywności promieniotwórcze radionuklidów naturalnych na Ziemi, w górnej warstwie litosfery, występują w minerałach potasowych (^{40}K), [Bem., H., (2005)]. Pewne ilości radionuklidów naturalnych występują także w złożach innych minerałów: fosforytach, węgla kamiennym i wielu innych, gdzie w wyniku procesów geologicznych i hydrogeologicznych, do złóż tych minerałów przedostały się radionuklidy szeregu uranowego i torowego. Wydobycie, przerób i użytkowanie kopalin zawierających podwyższone ilości radionuklidów naturalnych prowadzi do skażeń promieniotwórczych środowiska. Dotyczy to kopalnictwa uranu, kopalnictwa a zwłaszcza spalania węgla kamiennego, przerobu rud fosforanowych i produkcji nawozów sztucznych, wydobycia i przerobu ropy naftowej i gazu oraz działalności innych gałęzi przemysłu, omówionych w dalszej części tego rozdziału.

Badania nad materiałami promieniotwórczymi występującymi w przyrodzie (NORM = *Naturally Occurring Radioactive Materials*), a zwłaszcza materiałami, w których stężenia radionuklidów naturalnych zostały znacznie zwiększone w wyniku działalności wydobywczej i produkcyjnej człowieka (TENR = *Technologically Enhanced Natural Radioactivity* lub TENORM = *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*), stanowią obecnie wyodrębnioną dziedzinę badań.

Interesujące jest porównanie aktywności typowych źródeł promieniotwórczych występujących w przyrodzie (w tym ciała człowieka), materiałów promieniotwórczych wytworzonych przez człowieka do celów medycznych, produkcyjnych i innych, oraz niektórych odpadów promieniotwórczych (Tabela 6). Niektóre z tych przykładów będą omawiane w dalszych częściach wykładu.

¹⁹ Aktywność ^{237}Np zmalała o niewyobrażalną liczbę 10^{635} razy

Tabela 6. Aktywności typowych źródeł promieniotwórczych [□]

„Człowiek standardowy” o wadze 70 kg	8×10^3
1 kg kawy	1×10^3
1 kg nawozu, superfosfatu	5×10^3
Radon w powietrzu w domu o powierzchni 100 m ² (Australia)	$3 \times 10^3 - 3 \times 10^4$
Czujka dymu z ²⁴¹ Am	3×10^4
Porcja radiofarmaceutyku do diagnostyki medycznej	7×10^7
Źródło izotopowe do terapii	1×10^{14}
1 kg zeszkłonego wysoaktywnego odpadu promieniotwórczego (50 lat)	1×10^{13}
Świetlny znak „Wyjście” (z lat 70. XX w.)	1×10^{12}
1 kg uranu (bez oddzielonych produktów rozpadu)	25×10^6
1 kg kanadyjskiej rudy uranowej (15%)	25×10^6
1 kg australijskiej rudy uranowej (0,3%)	$0,5 \times 10^6$
1 kg niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych	1×10^6
1 kg popiołu po spaleniu węgla	2×10^3
1 kg granitu	1×10^3

9.5.3. Uwalnianie się radionuklidów naturalnych do środowiska w wyniku działalności człowieka

9.5.3.1. Kopalnictwo uranu

W początkowym okresie kopalnictwa uranu (druga połowa XIX wieku) a zwłaszcza w okresie intensywnego rozwoju po drugiej wojnie światowej, odpady ze wstępnej obróbki rud uranu były w sposób całkowicie niekontrolowany usuwane bezpośrednio do środowiska -najbliższego jeziora lub rzeki (Kanada, Gabon i in.). Spółki górnicze w Stanach Zjednoczonych po wyczerpaniu złóż rudy często pozostawiały miejsca jej wydobycia bez zabezpieczenia wejść do kopalni i jej wyrobisk oraz bez usunięcia odpadów i rekultywacji terenów co prowadziło do nieodwracalnej degradacji środowiska. Dopiero w latach 70. XX wieku, zapanował powszechny pogląd, że dalsza degradacja środowiska niesie poważne zagrożenia dla naszej cywilizacji, co zapoczątkowało światową akcję rekultywacji terenów starych kopalń uranu i składowisk odpadów IAEA (2004). Zagadnienie rehabilitacji i rekultywacji terenów zdegradowanych przez kopalnictwo uranu stał się szczególnie palący w USA i Kanadzie, gdzie produkcja uranu była największa w świecie i gdzie na hałdach ponad

pięćdziesięciu składowisk nagromadzono około 120 mln m³ odpadów promieniotwórczych pozostałych po wydobyciu i wstępnym wzbogacaniu rudy uranu, dotyczy również w terenów wschodnich Niemiec i Czech.

9.5.3.2. Wydobycie i spalanie węgla

3. Jest to drugi przykład działalności wydobywczej i produkcyjnej człowieka która prowadzi do znacznego zwiększenia stężeń radionuklidów naturalnych w środowisku. Zawartość radionuklidów w węglu zależy od ilości i rodzaju zawartych w nim zanieczyszczeń mineralnych, np. wtórnych fosforanów, w których koncentrują się te radionuklidy. Węgiel kamienny zawiera średnio około 50 Bq kg⁻¹ ⁴⁰K oraz po 20 Bq kg⁻¹ ²³⁸U i ²³²Th w równowadze z produktami rozpadu. Średnia zawartość radu w węglach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wynosi 18 Bq×kg⁻¹ ²²⁶Ra i 11 Bq Bq×kg⁻¹ ²²⁸Ra. W procesie spalania węgla część tych radionuklidów ulatuje z dymem, głównie w postaci aerozoli, tzw. popiołów lotnych (*flue ash*) niosących zwłaszcza ²¹⁰Pb i ²¹⁰Po (średnio 930 i 1700 Bq×kg⁻¹) oraz mniejsze ilości (rzędu 100 ÷ 250 Bq×kg⁻¹) ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁸Th, ²²⁶Ra i ⁴⁰K. Te lotne cząstki unoszone wiatrem powodują skażenia dalekiego zasięgu. Elektrofiltry i osadniki nowoczesnych elektrowni węglowych o mocy powyżej 1000 MWe wyłapują ponad 99% zanieczyszczeń lotnych. Dzięki temu równoważna dawka roczna dla krytycznej grupy populacji ludzkiej nie powinna przekraczać 50 μSv (około 5% dawki od radionuklidów naturalnych). Pozostała duża część radionuklidów akumuluje się w popiołach pozostających w elektrowni (bottom ash), które mogą zawierać : ⁴⁰K (1200 Bq×kg⁻¹), ²³⁸U (100 Bq×kg⁻¹), ²³²Th (120 Bq×kg⁻¹), ²²⁸Th (560 Bq×kg⁻¹), ²²⁶Ra (250 Bq×kg⁻¹), ²¹⁰Pb (3900 Bq×kg⁻¹) i ²¹⁰Po (110 Bq×kg⁻¹) [Myasoedov, B. F., Drozhko, E. G. Alloys Comp., 271-273 (1998) 216-220, (b) Romanov, G. M. Drozhko, G., Postępy Techniki Jądrowej, 39 (1996) 30-40. Narbutt, J., (2007)].

Przy ogromnych ilościach spalanego węgla i możliwości porywania przez wiatr popiołów ze źle zabezpieczonych składowisk, całkowita aktywność powyższych radionuklidów może być bardzo wysoka. Jeżeli typowa elektrownia (1000 MWe) spala rocznie 4 mln ton węgla o zawartości (typowej) 1,3 ppm uranu i 3,2 ppm toru, **to roczne uwolnienia z tej elektrowni wynoszą 5,2 ton uranu i 12,8 ton toru wraz z produktami ich rozpadu!** Omówienie sytuacji radiologicznej spowodowanej energetycznym spalaniem węgla

w Polsce jest szczegółowo omówione w pracy Bem., H., (2005). Stężenia radionuklidów w odpadach z węgla kamiennego są większe niż w odpadach z węgla brunatnego, a także większe w popiele niż w żużlu. Radionuklidy uwalniane w wyniku spalania węgla osadzają się w glebie, przenikają do roślin i w łańcuchu pokarmowym trafiają do organizmów zwierząt i ludzi.

Radionuklidy naturalne, w szczególności oba główne izotopy radu, pojawiają się także w zasolonych wodach odpadowych kopalni węgla. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, gdzie najwyższe notowane stężenia ^{226}Ra w wodach niektórych kopalni dochodziły do 390 kBq/m^3 , ale występuje także w Niemczech (Zagłębie Ruhry), Brazylii i w innych krajach. Stężenie radu rośnie ze wzrostem mineralizacji wód. Wyróżniono dwa typy wód radowych występujących w kopalniach węgla: wody zawierające rad ($\sim 10^2 \text{ kBq/m}^3$ z przewagą ^{226}Ra) i bar a nie zawierające jonów siarczanowych (typ A), oraz wody zawierające rad ($\sim 10 \text{ kBq/m}^3$ z przewagą ^{228}Ra) i jony siarczanowe¹ a nie zawierające baru (typ B). W przypadku mieszania się obu typów wód radowych lub wód typu A z innymi wodami zawierającymi siarczany wytrącał się siarczan baru, z którym współtrącał się rad powodując znaczne lokalne skażenia środowiska. Najwyższe stężenia ^{226}Ra w wodach zrzutowych wynosiły 25 kBq/m^3 , Na początku lat 90. całkowite stężenia ^{226}Ra uwalnianego z wodami typu A wynosiły około 140 MBq na dobę, a z wodami typu B -około 300 MBq na dobę. Dawki skuteczne wynikające z narażenia na inhalację radonu i produktów jego rozpadu w polskim kopalnictwie węgla (1995-2003) sięgały 7 mSv/rok i były większe od łącznych dawek wynikających z promieniowania zewnętrznego i skażenia radem [Skowronek, B., Michalik, J., Dulewski, (2005)

Tabela 7. Radionuklidy powstałe w wyniku nukleosyntezy występujące pojedynczo

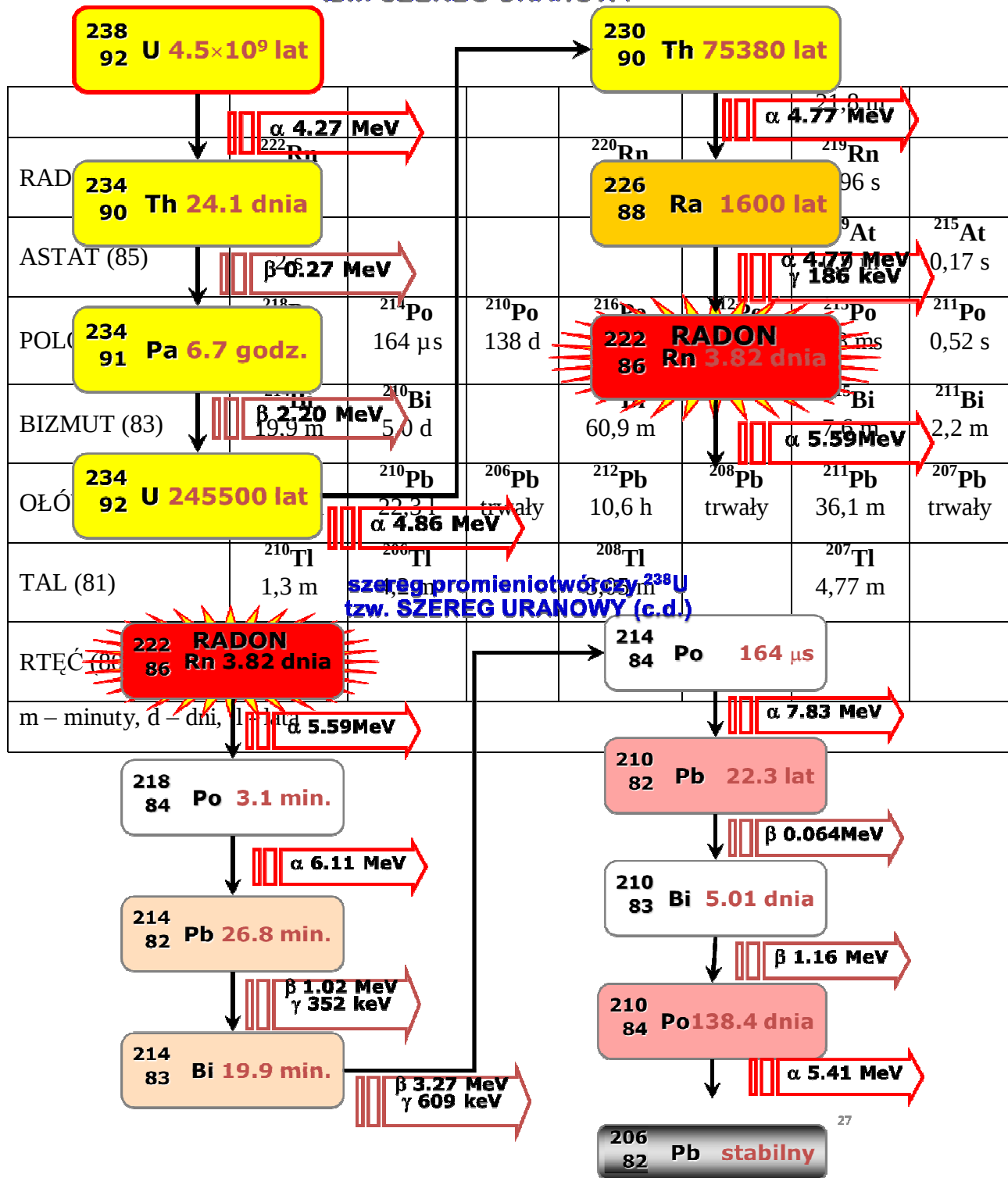
LP	IZOTOP	CZAS POŁOWICZNEGO ROZPADU $T_{1/2}$ (lat)	Zawartość w pierwiastku naturalnym (%)	Rodzaj promieniowania
1	^{40}K (Potas)	1.3×10^9	0.0118	β, γ
2	^{50}V (Wanad)	6.0×10^{14}	0.25	β
3	^{87}Rb (Rubid)	4.8×10^{10}	27.83	β
4	^{113}Cd (Kadm)	9.0×10^{15}	12.3	β
5	^{115}In (Ind)	5.0×10^{14}	95.7	β
6	^{138}La (Lantan)	1.1×10^{11}	0.09	β

7	^{142}Ce (Cer)	$>5\times 10^{16}$	11.1	α
8	^{144}Nd (Neodym)	2.1×10^{15}	23.9	α
9	^{147}Sm , ^{148}Sm , ^{149}Sm (Samar)	1.1×10^{11} ; 8.0×10^{15} ; $>\times 10^{16}$	15, 11.2, 13.8	α
10	^{152}Gd (Gadolin)	1.1×10^{14}	0.2	α
11	^{156}Dy (Dysproz)	2.0×10^{14}	0.06	α
12	^{176}Lu (Lutet)	2.7×10^{10}	2.6	β
13	^{174}Hf (Hafn)	2.0×10^{15}	0.17	α
14	^{180}Ta (Tantal)	$>5\times 10^{13}$	0.012	β
15	^{190}Pt (Platyna)	7.0×10^{11}	0.013	α
16	^{204}Pb (Ołów)	1.4×10^{17}	1.48	α

Tabela 8. RADIONUKLIDY TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

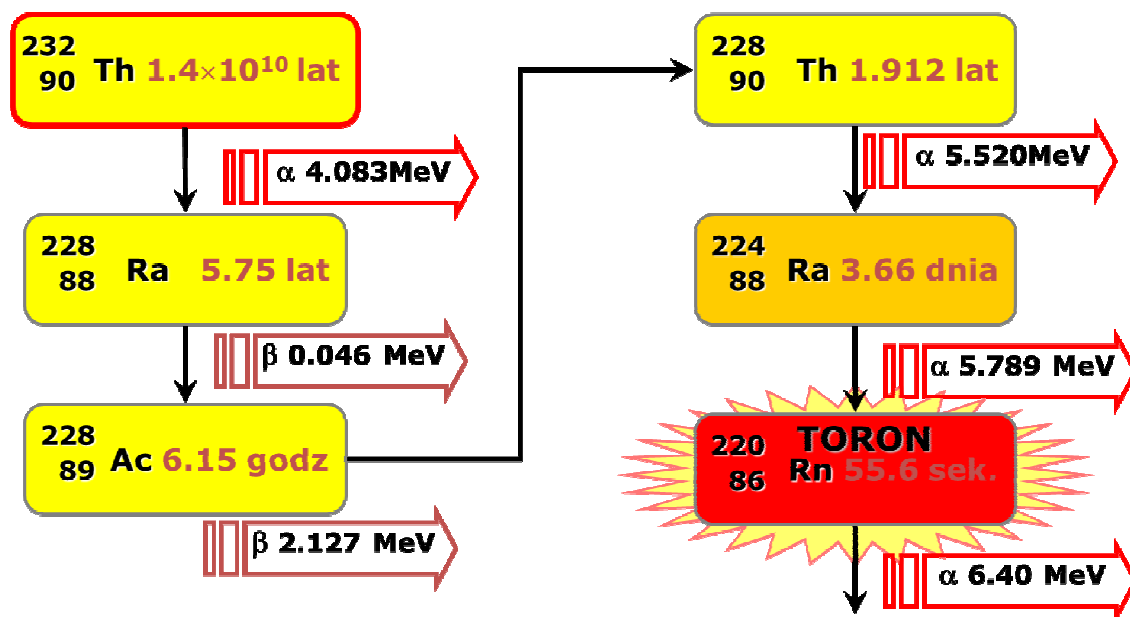
PIERWIASTEK (w nawiasach liczba atomowa Z)	szereg $4n+2$			szereg $4n$		szereg $4n+3$	
URAN (92)	^{238}U 4,5×109 l	^{234}U 2,5×105 l				^{235}U 7,0×108 l	
PROTAKTYN (91)	^{234}Pa 1,17 m					^{231}Pa 3,3×10 ⁴ l	
TOR (90)	^{234}Th 24,1 d	^{230}Th 7,5×10 ⁴ l		^{232}Th 1,4×10 ¹⁰ l	^{228}Th 1,9 l	^{231}Th 25,5 h	^{227}Th 18,7 d
AKTYN (89)				^{228}Ac 6,13 h		^{227}Ac 21,8 l	
RAD (88)	^{226}Ra 1570 l			^{228}Ra 5,75 l	^{224}Ra 3,66 d	^{223}Ra 11,4 d	
FRANS (87)						^{223}Fr	

**szereg promieniotwórczy ^{238}U
tzw. SZEREG URANOWY**

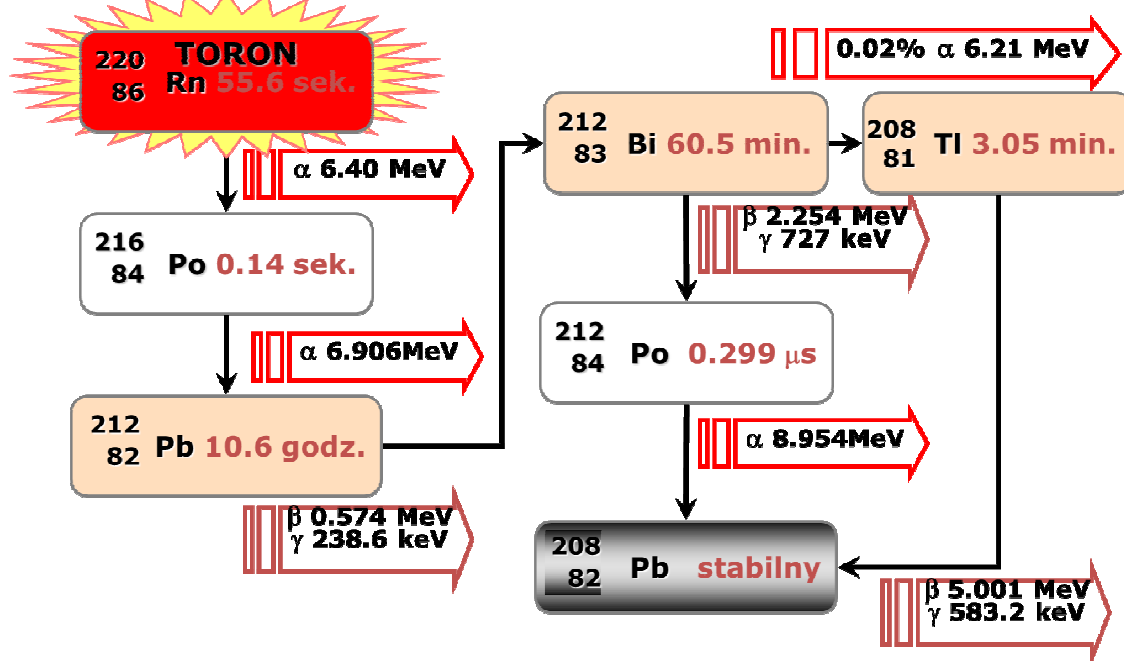


Rysunek 5: Schemat szeregu promieniotwórczego URANOWEGO

szereg promieniotwórczy ^{232}Th
tzw. szereg TOROWY



szereg promieniotwórczy ^{232}Th
tzw. szereg TOROWY (cd.)



Rysunek 6: Schemat szeregu promieniotwórczego TOROWEGO

9.5.4. Datowanie obiektów biologicznych, archeologicznych i wód

Specyficzne właściwości niektórych radionuklidów kosmogenicznych zostały wykorzystane do określania wieku obiektów geologicznych i badania procesów środowiskowych przebiegających na Ziemi w okresie ostatnich dziesiątków i więcej tysięcy lat. Najbardziej znana jest radiochemiczna metoda określania wieku obiektów biologicznych, archeologicznych itp., polegająca na pomiarze składu izotopowego próbki -stosunku stężeń izotopu ^{14}C do trwałych izotopów węgla w badanym obiekcie, tzw. datowanie **radiowęglowe**, za opracowanie której (1949) Willard Libby uzyskał nagrodę Nobla (1960). Metoda oparta została na założeniu, że pod działaniem promieniowania kosmicznego w reakcji jądrowej $^{14}\text{N}(\text{n},\text{p})^{14}\text{C}$ przebiegającej w górnych warstwach atmosfery ze stałą szybkością²⁰) powstaje długożyciowy izotop węgla ^{14}C ($T_{1/2} = 5730$ lat), który utlenia się do $^{14}\text{CO}_2$ i po wymieszaniu się z atmosferycznym $^{12}\text{CO}_2$ uczestniczy w procesie fotosyntezy. Dopóki rośliny i inne organizmy uczestniczące w łańcuchu pokarmowym żyją, tak długo skład izotopowy węgla w tych organizmach pozostaje w przybliżeniu stały. Po śmierci organizmu istniejąca równowaga między dostarczaniem ^{14}C a jego rozpadem promieniotwórczym zostaje zakłócona i w miarę czasu zawartość ^{14}C w martwym organizmie (lub w wytworzonym z niego materiale) zmniejsza się zgodnie z okresem połowicznego zaniku ^{14}C . Metoda wykorzystywana jest do datowania obiektów biologicznych oraz archeologicznych zawierających składniki organiczne, głównie tkankę roślinną i zwierzęcą, np. drewno, skóra, ale i nieorganiczne np. zawiesziny typu kredy jeziornej, a nawet wyroby garncarskie czy żelazne, które zawierają niewielkie domieszki węgla. Pomiar radioaktywności ^{14}C metodą ciekłej scyntylacji pozwala na datowanie obiektów mających do 30 000 lat. Zastosowanie kosztownych metod spektrometrii masowej umożliwia datowanie obiektów znacznie starszych [Bem., H., (2005)]

9.6. Radon i jego pochodne

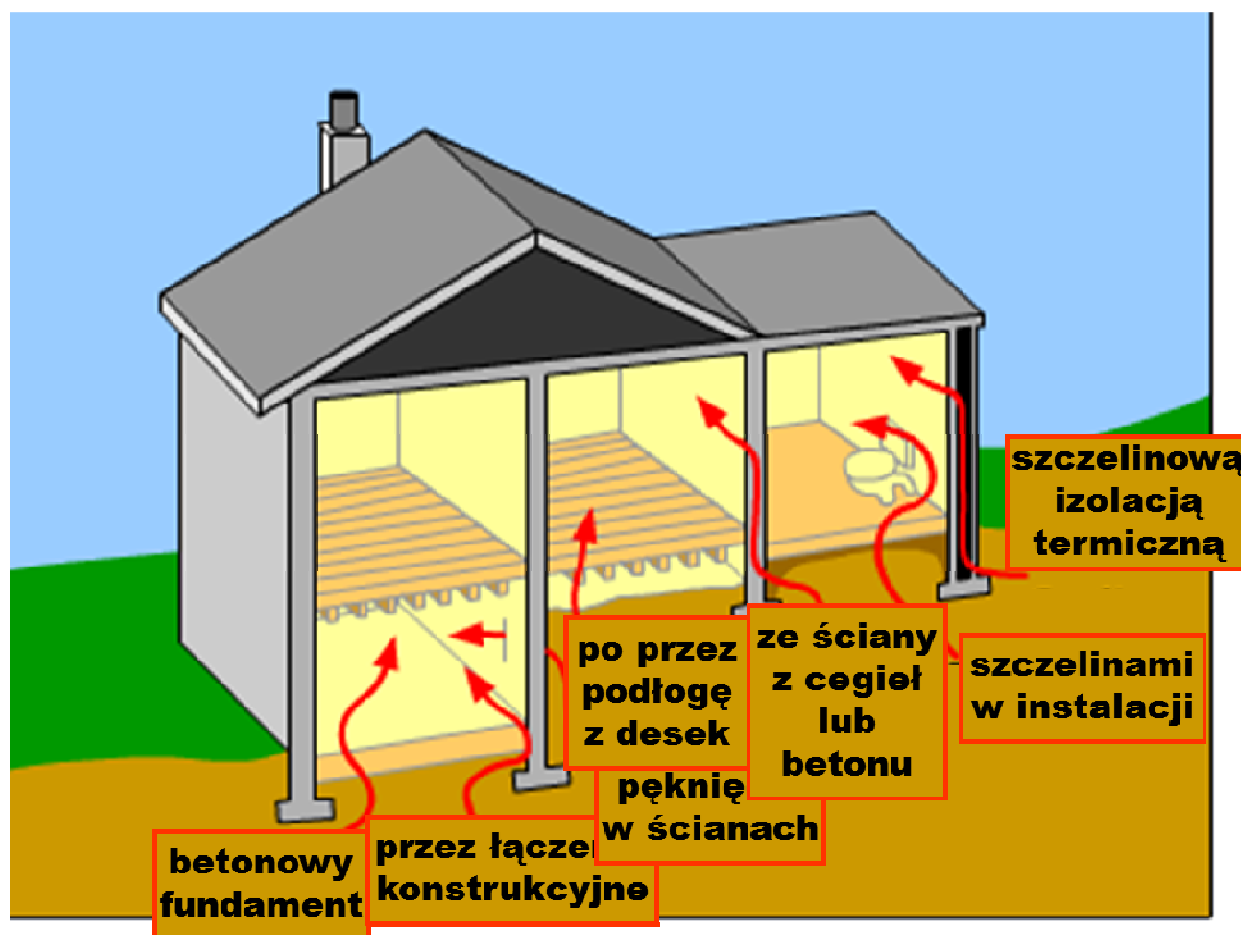
α -promieniotwórczy ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3,8$ dnia), jest gazem szlachetnym, produktem rozpadu długożyciowego ^{226}Ra , w szeregu promieniotwórczym uranu-238, ma największy udział w całkowitej dawce otrzymywanej przez człowieka od naturalnych pierwiastków promieniotwórczych (

²⁰ Obliczanie wieku próbki na podstawie pomiaru stosunków stężeń izotopu ^{14}C do trwałych izotopów węgla nie jest dokładne, ponieważ zawartość atmosferycznego ^{14}C nie jest stała w czasie, lecz zmienia się w wyniku zmian aktywności słonecznej i innych zjawisk astrofizycznych. Ponadto stężenie trwałych izotopów węgla zmniejsza się w wyniku uwolniania węgla z naturalnych starych źródeł na Ziemi. Liczne pomiary doprowadziły do opracowania krzywej kalibracyjnej umożliwiającej określanie dokładnej daty kalendarzowej próbki metodą datowania radiowęglowego [9].

Rysunek 5). Izotop ten, ma najdłuższy okres połowicznego zaniku ze wszystkich znanych 37 izotopów i izomerów jądrowych radonu o masach atomowych od 196 do 228. Drugi istotny izotop radonu ^{220}Rn (toron; $T_{1/2} = 56 \text{ s}$), występuje w szeregu promieniotwórczym Toru-232, ale (z powodu znacznie krótszego okresu połowicznego zaniku) może migrować z głębokich warstw Ziemi do organizmu człowieka w znacznie mniejszych ilościach (Rysunek 6). Więcej informacji na temat zachowania się radonu w środowisku ze szczególnym uwzględnieniem terenów Polski można znaleźć w pracy [Bem., H., (2005)].

Radon w mierzalnych ilościach występuje powszechnie na Ziemi, pod względem właściwości chemicznych jest to mało reaktywny chemicznie gaz szlachetny, który łatwo uwalnia się z rud uranowych i uranonośnych, w których powstaje, i z umiarkowaną szybkością migruje przez warstwy geologiczne, glebę i przenikając przez fundamenty i ściany budynków, pojawia się naszych domach i w mieszkaniach. Minerale znajdujące się w skorupie ziemskiej są głównym źródłem radonu w budynkach mieszkalnych, kilkakrotnie silniejszym niż rad obecny w materiałach budowlanych. Zawartości radu w materiałach budowlanych dopuszczalne w niektórych krajach (np. w Czechach) wynoszą $150 \div 200 \text{ Bq/kg}$. Zjonizowane i bardzo reaktywne chemicznie produkty rozpadu promieniotwórczego radonu (właściwie pary jonowe) reagują ze składnikami powietrza atmosferycznego, silnie zanieczyszczonego (zwłaszcza w domu mieszkalnym) pyłami, aerozolami, parą wodną itp. Te promieniotwórcze cząstki osadzają się na aerozolech i stanowią zarodki kondensacji pary wodnej. Radioaktywne aerozole, przedostające się wraz z radonem do organizmu na drodze inhalacji, stanowią szczególne zagrożenie radiacyjne człowieka. Szkodliwe efekty działania radonu na zdrowie polegają bowiem głównie na uszkodzeniu struktury chemicznej DNA komórek nabłonka dróg oddechowych przez wysokoenergetyczne promieniowanie α i β osadzających się na nich krótkożyciowych produktów rozpadu radonu. W przypadku dużych dawek promieniowania może to wywołać rozwój komórek nowotworowych, np. raka płuc. Szacuje się, że udział promieniowania radonu i produktów jego rozpadu w średniej dawce efektywnej dla całej populacji ludzkiej, pochodzącej od wszystkich źródeł promieniowania jonizującego, sięga od 40 do ponad 50%. Dawka ta w latach 2004 - 2009 w Polsce wynosiła 3,5 mSv, z czego około 2,5 mSv przypadało na źródła naturalne. Ze względu na szczególną wagę narażenia człowieka od radonu, przepisy międzynarodowe wprowadziły specjalną jednostkę służącą do określenia tego narażenia, a mianowicie 1 WML (working level month), która

oznacza narażenie na promieniowania radonu i produktów jego rozpadu (w stanie równowagi) tkanki płucnej człowieka przebywającego przez 170 godzin w powietrzu zawierającym 3700 Bq/m³ tych radionuklidów. Ekspozycja taka odpowiada średniej dawce efektywnej rzędu 5 mSv. [IAEA(1996), International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources , SAFETY SERIES No. 115]. Dostęp radonu z wnętrza Ziemi do budynku można ograniczyć przez zwykłe uszczelnianie otworów w podłogach, pozostawionych po doprowadzaniu przewodów (kable, rury) spod ziemi. Trudniejsza, ale możliwa do wykonania jest izolacja budynku za pomocą np. trudno przenikalnych dla radonu (patrz niżej) folii polimerowych. Izolację taką lub za pomocą warstw trudno przenikalnej gleby pod płytą podłogową wykonuje się czasem podczas budowy nowych domów w rejonach o podwyższonej zawartości radonu. Częste wietrzenie znacznie zmniejsza stężenie radonu i produktów jego rozpadu w pomieszczeniach. Ponadto radioaktywne aerozole, obdarzone ładunkiem, łatwo osadzają się polu elektrycznym, wytworzonym np. przez przewody elektryczne lub ekran telewizora, co zmniejsza stężenie produktów rozpadu radonu w powietrzu. Bardzo dużym zainteresowaniem cieszą się, zwłaszcza w USA, detektory radonu, które umożliwiają prosty pomiar jego stężenia w pomieszczeniu. Wielokrotnie obserwowano, zwłaszcza w Azji, że trzęsienia Ziemi poprzedzane są wzrostem lokalnych stężeń radonu w powietrzu i w wodach powierzchniowych, które rejestruje się na długo wcześniej nawet w odległościach powyżej tysiąca kilometrów od epicentrum. Uważa się, że wzrost ten spowodowany jest przyspieszeniem procesu migracji radonu z głębi Ziemi ku jej powierzchni w wyniku poprzedzającego trzęsienie poruszenia i rozpulchnienia litych warstw geologicznych [Narbutt, J., (2007)].



Rysunek 7. Drogi przenikania radonu ^{222}Rn do wnętrza budynku

9.6.1. Zagrożenie człowieka

Najpoważniejsze znane efekty wysoce szkodliwego oddziaływania radonu na człowieka dotyczą wczesnego okresu eksploatacji złóż rud uranowych. Szkodliwość ta spowodowana była nie tylko bardzo wysokimi stężeniami radonu i płynącym stąd szczególnie dużym zagrożeniem radiacyjnym w podziemnych kopalniach uranu, lecz także w dużym stopniu niewiedzą o istniejącym zagrożeniu. Choć w tamtym okresie – przynajmniej w Polsce – nie prowadzono odpowiednich statystyk, a całe górnictwo uranu objęte było ścisłą tajemnicą, to duża liczba zgonów w populacji młodych górników dołowych kopalni uranu w Kowarach jednoznacznie wskazuje na przyczynę ich śmierci. Podobnie działo się i w wielu innych krajach (p. wykład 2.1.4.7). Obecnie na podstawie badań epidemiologicznych uważa się, że około 40% przypadków raka płuc w populacji górników dołowych kopalni uranu można przypisać działaniu radonu i jego pochodnych. Wielkość ta jest porównywalna z efektami palenia tytoniu (p. wyżej), przy czym obydwie te zagrożenia działają synergicznie. Jednakże wyniki wielu badań dotyczących efektów biologicznych małych dawek promieniowania

jonizującego wskazują na przykład, że wzrost stężenia radonu w domach do $150 \div 200 \text{ Bq/m}^3$ powoduje wyraźne zmniejszenie umieralności z powodu raka płuc. Spowodowało to rozpowszechnienie się hipotezy tzw. **hormezy radiacyjnej**. Postuluje ona istnienie jeszcze nieudowodnionego korzystnego wpływu małych dawek promieniowania jonizującego na żywe organizmy, który powoduje m.in. zmniejszenie prawdopodobieństwa zachorowania na nowotwory złośliwe i inne choroby o podłożu genetycznym. Proponowany mechanizm hormezy radiacyjnej polega na stymulowaniu naturalnych komórkowych mechanizmów naprawczych przez małe dawki promieniowania, co z jednej strony zmniejsza liczbę uszkodzeń DNA prowadzących do powstawania nowotworów, a z drugiej – może wywierać korzystny wpływ terapeutyczny na schorzenia organizmu spowodowane innymi niż to promieniowanie przyczynami Jaworowski , Z, (1997) Podwyższone stężenia radonu występują nie tylko w kopalniach rud uranowych. Obserwuje się je też, choć w znacznie mniejszym stopniu, w niektórych kopalniach węgla kamiennego, m.in. na Górnym Śląsku. Badania epidemiologiczne populacji górników dołowych śląskich kopalni węgla nie wykazały jednak statystycznie istotnego wpływu radonu na ich umieralność z powodu raka płuc. Rozpowszechnione opinie o spowodowanych przemysłową działalnością człowieka innych możliwych zagrożeniach radonem, na przykład wydzielającym się z fosforanowych nawozów sztucznych, czy z odpadów po produkcji tych nawozów -fosfogipsów na wielkiej hałdzie na Żuławach Wiślanych -wydają się nieuzasadnione.

9.7. Skażenia środowiska w wyniku wybuchów jądrowych w atmosferze, działalności przemysłu w tym przemysłu jądrowego i awarii jądrowych

Omawiane powyżej promieniotwórcze skażenia środowiska, spowodowane przede wszystkim wydobywaniem i przetwarzaniem rud uranowych, stanowią tylko niebezpieczną dla człowieka redystrybucję radionuklidów naturalnych, już znajdujących w głębi Ziemi i nie zwiększają sumarycznej radioaktywności na naszym globie. Odmienne przedstawiają się wyniki działalności człowieka w sektorze przemysłu jądrowego ukierunkowanego na cele militarne (produkcja i testy broni jądrowej), ale też i na cele pokojowe (energetyka jądrowa). Pracujące reaktory jądrowe generują nowe radionuklidy, głównie produkty rozszczepienia uranu i pierwiastki transuranowe. Bezawaryjna praca energetycznych reaktorów jądrowych praktycznie nie stanowi zagrożenia radiacyjnego dla środowiska gdyż uwolnienia radionuklidów (tryt, ^{14}C , ^{35}S , lotne produkty rozszczepienia i

produkty aktywacji neutronowej) są mniejsze niż uwolnienia radionuklidów z elektrowni węglowych (patrz punkt 0). Średnia roczna dawka skuteczna dla człowieka spowodowana energetyką jądrową wynosi 8 μSv , co stanowi znikomy ułamek dawki całkowitej.

9.7.1. Przerób rud fosforanowych i produkcja nawozów sztucznych

W rudach fosforanowych (fosforytach) występują związki uranu i produktów jego rozpadu w ilościach silnie zależących od źródła pochodzenia rudy. Zawartość ^{238}U i ^{226}Ra w apatytach z półwyspu Kola jest rzędu 30 -200 Bq/kg, ale w rudach osadowych -fosforytach marokańskich (ponad 15% udziału w przerobie światowym) sięga 1700 Bq kg^{-1} , a w fosforytach z Północnej Karoliny aż 4800 Bq/kg. W wydobywanych rocznie w połowie lat 90. fosforytach (130 mln ton) znajdowało się około 150 TBq ^{226}Ra . W trakcie przeróbki tych minerałów na kwas fosforowy tzw. metodą suchą (wysokotemperaturowa redukcja fosforanów do fosforu) uwalnia do atmosfery lotne związki ^{210}Po i ^{210}Pb , natomiast rad, uran (i tor) pozostają w odpadach stałych. Znacznie częściej stosowana metoda mokra polega na trawieniu rudy kwasem siarkowym. Związki uranu (i toru) w przeważających ilościach przechodzą do powstającego kwasu fosforowego i do powstających z niego nawozów sztucznych, a rad wytrąca się jako siarczan i prawie w całości pozostaje w odpadzie -fosfogipsie, do którego przechodzą też ^{210}Po i ^{210}Pb .

4. Moc dawki promieniowania jonizującego nieoczyszczonego kwasu fosforowego i produkowanych z niego nawozów sztucznych (superfosfat) jest rzędu 90 -800 nGy/h. W procesach produkcji, magazynowania i wysiewania tych nawozów, wydziela się z nich radon, dawki skuteczne wynikające z narażenia na inhalację radonu i produktów jego rozpadu w polskim przemyśle nawozów fosforanowych sięgały zaledwie 0,2 mSv/rok . Myasoedov, B. F., Drozhko, E. G. Alloys Comp., 271-273 (1998) 216-220, (b) Romanov, G. M. Drozhko, G., Postępy Techniki Jądrowej, 39 (1996) 30-40.

Narbutt, J., (2007).

Obawy przed fosfogipsem jako odpadem radioaktywnym istnieją również i w Polsce. Wprawdzie hałda w Wiślince na Żuławach Wiślanych, na której znajduje się ponad 16 mln ton fosfogipsów pochodzących z przerobu fosforytów w Gdańskich Zakładach Nawozów Fosforowych, zajmująca wraz ze strefą ochronną powierzchnię 85 ha, jest znacznie mniejsza niż ta na Florydzie, ale od wielu już lat budzi poważne zaniepokojenie społeczne.

9.7.2. Wydobycie i przerób ropy naftowej i gazu

Radionuklidy szeregów uranu i toru w ilościach śladowych występują także w naturalnych złożach węglowodorów, które uformowały się pod pokładami zawierających nawet do 0,1% uranu łupków bitumicznych. Do złóż węglowodorów przedostają się wypłukiwane wodą z łupków radionuklidy ^{226}Ra i produkty jego rozpadu, które przesączają się przez porowate piaskowce rozdzielające złoża łupków i węglowodorów. Zasolona woda wypompowywana wraz z ropą może zawierać ^{226}Ra w ilościach nawet do 1000 kBq/m^3 , a w polskim przemyśle naftowym - do 250 kBq/m^3 . W procesach wydobycia ropy spod dna morskiego woda ta trafia bezpośrednio do morza. Energetyczne spalanie ropy i gazu generuje znacznie mniejsze ilości radioaktywnych popiołów lotnych niż spalanie węgla. Natomiast gaz ziemny może zawierać znaczące ilości radonu, do 50 Bq/dm^3 , które nie zwiększają jednak w sposób istotny stężenia radonu w mieszkaniach [Pietrzak-Flis, Z., (1999)].

9.7.3. Inne gałęzie przemysłu

Materiały odpadowe zawierające radionuklidy naturalne powstają również w wyniku działalności innych gałęzi przemysłu, zwłaszcza metalurgicznego (wydobycie i hutnictwo metali nieżelaznych) i ceramicznego. Dawki skuteczne wynikające z narażenia na inhalację radonu i produktów jego rozpadu w polskim kopalnictwie metali (miedź, cynk, ołów) przekraczają 9 mSv/rok [Wójcik, A., Szumiel, I, Liniecki, J. (2006)] W ostatnich latach Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej wydała całą serię raportów bezpieczeństwa na temat zasad ochrony radiacyjnej podczas prac z minerałami i innymi surowcami a także w wybranych sektorach przemysłu [IAEA (2007)].

9.7.4. Przemysł jądrowy

Zagrożenie radiacyjne dla człowieka i środowiska naturalnego powoduje natomiast przerób wypalonego paliwa reaktorów jądrowych, prowadzony głównie dla celów wojskowych. Wynika to z wyjątkowo dużej radiotoksyczności wielu tych radionuklidów (np. niektórych izotopów plutonu) oraz z wysokiej koncentracji materiałów promieniotwórczych w zakładach przerobu paliwa. Zakłady przerobu wypalonego paliwa jądrowego działają w Belgii, Francji, Wielkiej Brytanii, Japonii i Rosji i w Chinach. W Stanach Zjednoczonych działalność komercyjnych zakładów przerobu paliwa jest zakazana; działają natomiast cztery zakłady wojskowe. Zgodna z obecnie obowiązującymi przepisami praca zakładów przerobu paliwa jądrowego powoduje uwalnianie bezpośrednio do środowiska takich samych

radionuklidów, jakie uwalniają elektrownie jądrowe, tylko ich ilości są znacznie większe. Przerób 1500 ton paliwa uwalnia m.in. 10^{10} Bq ^{131}I , 10^{15} Bq trytu i 10^{16} Bq ^{85}Kr . Pozostałe odpady radioaktywne są przerabiane, zabezpieczane i kierowane do specjalnych składowisk. Do 1982 roku liczne kraje, łącznie z USA, ZSRR, Francją, Anglią i Japonią usuwały nisko-i średnioaktywne odpady promieniotwórcze do mórz i oceanów. Produkcja broni jądrowej w USA doprowadziła do promieniotwórczych skażeń wielu miejsc kraju. Szacuje się, że pozostało po nich 29 mln. ton skażonej gleby i 49 mld. m^3 skażonych wód powierzchniowych i podziemnych. Większość wysokoaktywnych ciekłych odpadów promieniotwórczych pozostała w ogromnych zbiornikach, np. alkaliczne odpady ciekłe nagromadzone w zakładach w Hanford zawierały około 1600 kg technetu, 200 kg neptunu, 700 kg plutonu, 20 kg ameryku i wiele innych radionuklidów o łącznej aktywności rzędu 8×10^{18} Bq. Zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego w Sellafield (UK) od wczesnych lat 50. odprowadzał nieprzerobione odpady ciekłe do Morza Irlandzkiego. W szczytowym okresie – połowie lat 70. zrzucono tam rocznie około 5×10^{15} Bq ^{137}Cs , 10^{15} Bq ^{241}Pu i innych aktywności oraz duże ilości ^{90}Sr i ^{106}Ru . Dodatkowym źródłem odpadów, zwłaszcza ^{137}Cs , w tym rejonie były francuskie zakłady w La Hague i w rezultacie stężenie ^{137}Cs w wodach powierzchniowych Morza Irlandzkiego w połowie lat 80. przekraczało 1000 Bq/ m^3 . Było to przyczyną zwiększonej do 2 mSv rocznie średniej dawki efektywnej okolicznej ludności. Prądy morskie przenosiły te skażenia do Morza Północnego, a przede wszystkim przez północne wybrzeża Norwegii do Morza Barentsa, które było dodatkowo skażone w wyniku działalności radzieckich ośrodków jądrowych.

Skażenia środowiska przez syberyjskie ośrodki produkujące broń jądrową dla byłego Związku Radzieckiego były nieporównywalnie większe niż gdziekolwiek indziej na świecie. Do budowy bomby atomowej potrzebny był izotop ^{239}Pu . Po udanych doświadczeniach laboratoryjnych (1945) i półprzemysłowych (1948) nad wydzielaniem plutonu z naświetlonego neutronami uranu uruchomiono (1949) w kombinacie chemicznym Czelabińsk-65 produkcję plutonu-239 z wypalonego paliwa pierwszego w ZSRR reaktora jądrowego. Kombinat ten, obecnie Przedsiębiorstwo Produkcyjne Majak, zbudowany był na wschód od Uralu w pobliżu Oziarska, 60 km na północ od Czelabińska. Niedopracowana technologia procesu i wielkie ilości wysokoaktywnych ciekłych odpadów promieniotwórczych spowodowały szybkie zapełnienie zbudowanych zbiorników; podjęto więc decyzję usuwania wysokoaktywnych ścieków promieniotwórczych bezpośrednio do niewielkiego jeziora Karaczaj i rzeki Tieczy (dorzecze Obu, zlewisko Morza Karskiego). W

okresie 1949-19566 do Tieczy zlano łącznie ponad 2,7 mln Ci ($\sim 10^{17}$ Bq, z czego 95% w latach 1950-51), skażając zalewisko rzeki na długości 100 km. Średnie dawki efektywne mieszkańców okolicznych wiosek sięgały 1,7 Sv i odnotowano przypadki choroby popromiennej. Z najbardziej zagrożonych terenów przesiedlono w latach 50-tych kilkanaście tysięcy osób. Wielkie dodatkowe skażenie promieniotwórcze środowiska w tym rejonie spowodował w roku 1957 awaria w innej części kombinatu w pobliskim Kysztymie. Uszkodzenie systemu chłodzenia stalowego zbiornika (300 m^3) z wysokoaktywnymi ciekłymi odpadami jądrowymi, generującymi duże ilości ciepła, spowodowało odparowywanie roztworu i tworzenie się na jego powierzchni skorupy soli -azotanu i octanu sodu. Gdy temperatura osadu przekroczyła (jak później oceniono) $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, iskra instalacji elektrycznej wywołała zapłon i wybuch tych łatwo eksplodujących soli. Około 10^{17} Bq produktów rozszczepienia, głównie krótkożyciowych ^{144}Ce , ^{95}Zr i ^{106}Ru , zostało wyrzuconych na wysokość ponad 1 km i utworzyło chmurę promieniotwórczą, która przesunęła się 345 km na północny-wschód skażając długą wąską smugą obszar o powierzchni około $20\ 000\text{ km}^2$, w tym obszar 75 na 7 km powyżej 1 MBq/m^2 . Na ponad 100 tys. ha ziemi w rejonie Czelabińska i Świerdłowska wstrzymano produkcję rolną. 10 lat później nastąpiło ponowne skażenie okolicznych terenów, ale innego rodzaju i na dużo mniejszą skalę. Jego źródłem było jezioro Karaczaj, gdzie nagromadziło się ponad 120 mln Ci (4×10^{18} Bq) odpadów promieniotwórczych. Tornado w roku 1967 uniosło wraz z pyłami i piaskiem z wyschniętego wtedy jeziora około 2×10^{13} Bq ^{137}Cs i ^{90}Sr w postaci promieniotwórczych pyłów i aerozoli, które skażyły obszary o powierzchni 30 km^2 [Myasoedov, B. F., Drozhko, E. G. *Alloys Comp.*, 271-273 (1998) 216-220, (b) Romanov, G. M. Drozhko, G., *Postępy Techniki Jądrowej*, 39 (1996)]. Produkcję plutonu prowadzono także w utworzonych niemal w tym samym czasie dwóch innych rosyjskich kombinatach radiochemicznych: Tomsku-7 (obecnie Syberyjski Kombinat Chemiczny) w Siewiersku oraz Krasnojarsku-26 (obecnie Górniczy Kombinat Chemiczny) w Żeleznogorsku, nad Jenisejem 60 km od Krasnojarska. Na składowisku w podziemnych formacjach geologicznych kombinatu Krasnojarsk-26 ulokowanego we wnętrzu góry nagromadzono 10^{19} Bq wysokoaktywnych odpadów jądrowych, a na składowiskach powierzchniowych przedsiębiorstwa Majak (po 45 latach działalności) około 5×10^{17} Bq wysokoaktywnych odpadów stałych i 2×10^{19} Bq ciekłych, a znane wówczas technologie nie pozwalały na zeszkliwanie odpadów zawierających azotan i octan sodu. Zespoły zbiorników przemysłowych na rzece Tieczka zawierały 400 milionów m^3 skażonej wody. Według źródeł zachodnich Majak i Tomsk-7 wprowadziły do wód

powierzchniowych i podziemnych ponad 7×10^{18} Bq odpadów ciekłych, co (łącznie z Krasnojarskiem-26) stanowi ponad 95% tego typu skażeń na świecie. Ponadto, według danych rosyjskich, w morzach Arktyki zatopiono około 5×10^{14} Bq odpadów stałych, 7 reaktorów z paliwem o aktywności 8×10^{16} Bq, 9 reaktorów bez paliwa oraz duże ilości odpadów ciekłych. Nieco mniej skażone zostały morza Dalekiego Wschodu. Do tego typu zdarzeń zaliczyć trzeba też zatonięcie w 1989 roku atomowego okrętu podwodnego „Komsomolec”.

1. Osobny problem stanowi konieczność utylizacji nagromadzonych zapasów plutonu przeznaczonego kiedyś do produkcji broni jądrowej, które teraz, w myśl międzynarodowych porozumień o rozbrojeniu, muszą zostać zniszczone. Na świecie wyprodukowano w sumie około 250 ton plutonu do celów militarnych (z tego po około 100 ton w USA i w Rosji), a ilości plutonu w nagromadzone w wypalonym paliwie elektrowni jądrowych są jeszcze znacznie większe. Najbardziej perspektywicznym rozwiązaniem problemu ich zniszczenia jest opracowanie nowych typów energetycznych reaktorów jądrowych użytkujących mieszane paliwo uranowo-plutonowe (MOX), co umożliwi stopniowe pozbywanie się zapasów tego niebezpiecznego [Narbutt, J., (2007)].

9.7.5. Próbné wybúchy jądrowe

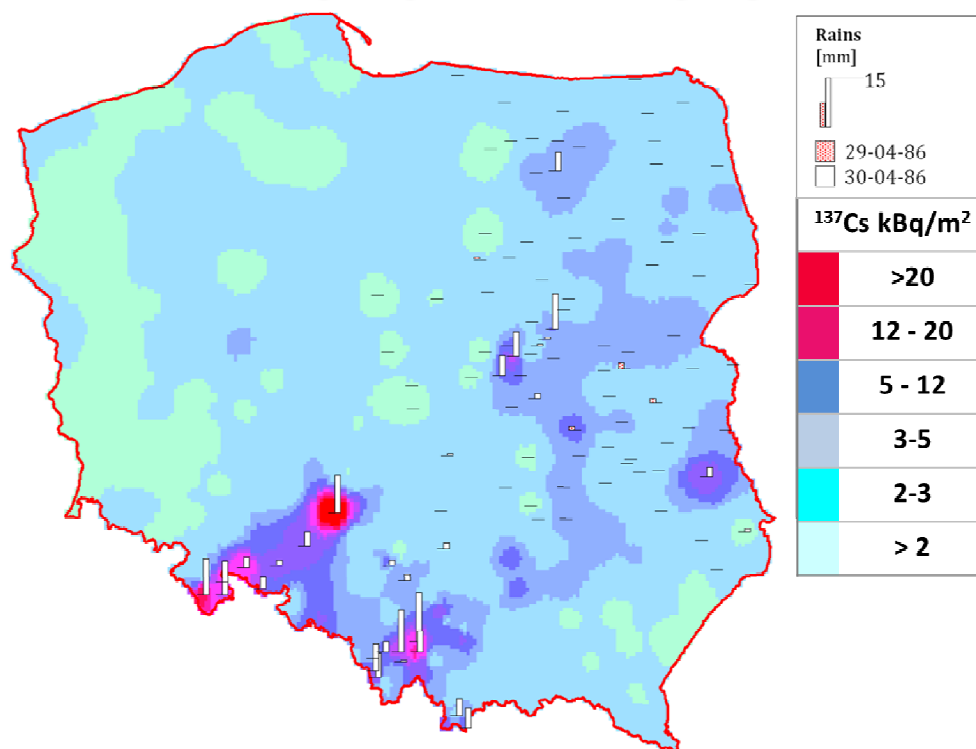
W latach 1945-1980 mocarstwa atomowe przeprowadziły ponad 540 wybuchów jądrowych i termojądrowych w atmosferze i na powierzchni Ziemi. Do atmosfery trafiło łącznie około $6,5 \times 10^{20}$ Bq krótkożyciowego ^{131}I , 9×10^{17} Bq ^{137}Cs , 6×10^{17} Bq ^{90}Sr i 2×10^{17} Bq różnych izotopów plutonu. Największy światowy roczny opad ^{137}Cs (1963) wyniósł $1,6 \times 10^{17}$ Bq. Po wprowadzeniu moratorium na atmosferyczne testy jądrowe opad radionuklidów systematycznie zaczął się zmniejszać i w roku 1994 światowy opad ^{137}Cs wyniósł 10^{11} Bq. Ponieważ jednak okres połowicznego zaniku ^{137}Cs jest stosunkowo długi ($T_{1/2} = 30$ lat), radionuklid ten -podobnie jak i równie długożyciowy ^{90}Sr -długo jeszcze będzie obecny w naszym ekosystemie. Powolna migracja pionowa w glebach powoduje, że oba te radionuklidy znajdują się w górnej 30 cm warstwie typowych gleb. Poza tymi dwoma radionuklidami od chwili zakończenia wybuchów jądrowych w atmosferze w ekosystemie naszym przetrwały praktycznie tylko długożyciowe izotopy pierwiastków transuranowych. Aktywność sumaryczna ^{239}Pu i ^{240}Pu w powietrzu, wynosząca w roku 1962 ~ 20 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ustaliła się w połowie lat 90. na poziomie ~ 50 nBq/ m^3 (w Polsce ~ 9 nBq/ m^3).

Ponieważ radionuklidy te nagromadziły się w powierzchniowej warstwie gleby, to obecnie ich głównym źródłem w powietrzu jest zapewne resuspensja z gleby. Najwyższa efektywna dawka roczna, głównie od długożyciowego ^{14}C (70%) oraz znacznie mniej od ^{137}Cs i ^{90}Sr , wynosiła 113 μSv i spadła do 5,5 μSv w roku 1999 [Narbutt, J., (2007)]. Innym źródłem radionuklidów, zwłaszcza krótkożyciowych, są próbne wybuchy podziemne, w wyniku których część substancji promieniotwórczych także przedostaje się do atmosfery. Do roku 1998 siedem krajów przeprowadziło blisko 1900 podziemnych wybuchów jądrowych. Wielkości uwolnienia do atmosfery w wyniku testów podziemnych na całym świecie ocenia się na $1,5 \times 10^{16}$ Bq ^{131}I , 5×10^{16} Bq ^{133}Xe i 10^{11} Bq ^3H , ale ze względu na krótki czas życia dwóch pierwszych nuklidów i zlokalizowany charakter testów ich wkład w dawkę efektywną jest znikomy.

9.7.6. Awarie jądrowe i wypadki z substancjami promieniotwórczymi

Spośród wielu opisanych awarii i wypadków radiacyjnych wymienić warto jeszcze te, które doprowadziły do większych niż lokalne skażenia środowiska. Doskonale jest znany przebieg i skutki awarii Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu w byłym ZSRR w roku 1986 [IAEA (2006), Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience]. Nie tylko błędy konstrukcyjne energetycznego reaktora typu RBMK z moderatorem grafitowym, ale i błędy personelu technicznego doprowadziły do utraty kontroli nad reaktorem, co spowodowało jego pożar i wyrzucenie do atmosfery ponad 10^{19} Bq produktów rozszczepienia, w tym gazów szlachetnych (głównie ^{133}Xe , 10^{19} Bq), ^{131}I (10^{18} Bq), ^{134}Cs (5×10^{16} Bq) i ^{137}Cs (9×10^{16} Bq) oraz stosunkowo mniejszych ilości transuranowców znajdujących się w eksploatowanym przez trzy lata i w dużym stopniu już wypalonym paliwie jądrowym. Była to największa dotąd awaria jądrowa na świecie i w jej wyniku terytoria niemal wszystkich krajów Europy zostały w większym lub mniejszym stopniu skażone promieniotwórczo, znacznie jednak mniej niż w wyniku atmosferycznych testów jądrowych (Rysunek 8). Dużo poważniejsze okazały się lokalne skutki awarii na terytoriach Ukrainy i Białorusi, spotęgowane jeszcze źle przeprowadzoną akcją ratunkową, w czasie której w wyniku nadmiernej dawki promieniowania jonizującego kilkudziesięciu ludzi poniosło śmierć. Na szczęście, najnowsza ocena skutków radioekologicznych opublikowana w raporcie t.zw. Forum Czarnobylskiego, działającego pod patronatem ONZ, nie potwierdziła pesymistycznych przewidywań dotyczących skutków zdrowotnych tej katastrofy.

MAPA STĘŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZEGO CEZU Cs-137
w 10 cm warstwie gleby [kBq·m²]
Korelacja z opadem atmosferycznym



Rysunek 8. Stężenia promieniotwórczego cezu ¹³⁷ Cs w 10 cm warstwie gleby spowodowane opadem promieniotwórczym po awarii w Czarnobylu

Awaria czarnobylska była bez porównania największą, ale nie jedyną awarią reaktora jądrowego. Awaria używanego do produkcji plutonu reaktora z moderatorem grafitowym chłodzonego powietrzem w Windscale (obecnie Sellafield) w Anglii (1957), spowodowała przegrzanie i pożar rdzenia. Zanim rdzeń został zalany wodą, do atmosfery przedostały się znaczne ilości lotnych produktów rozszczepienia, m.in. 10^{17} Bq ¹³³Xe i 10^{15} Bq ⁸⁵Kr, a także 7×10^{12} Bq ²¹⁰Po (materiału do produkcji zapalników bomb atomowych) z napromienianego właśnie bizmutu. Około 500 km² terenów rolniczych zostało skażone głównie ¹³¹I, ale szybkie wycofanie ze sprzedaży mleka i jego przetworów zapobiegło większemu narażeniu ludności.

Tragiczne skutki miała awaria małego (3 MW) prototypowego reaktora wojskowego SL-1 typu BWR w Idaho Falls (USA) w roku 1961. Podczas prób naprawy źle pracującego systemu, przy ręcznym wyciąganiu kadmowego pręta sterującego z rdzenia wyłączanego reaktora nastąpił gwałtowny wzrost mocy, stopienie rdzenia i odparowanie wody, które

wyrzuciło do góry rdzeń. Trzej operatorzy otrzymali śmiertelną dawkę promieniowania. Około 2×10^{12} Bq ^{131}I wydostało się ze zbiornika do hali reaktora, a prace dekontaminacyjne trwały rok. Przyczyną awarii były błędy konstrukcyjne - złe mocowanie absorbujących neutrony płytek z borem i utrata znacznej ich części, ale także zbyt późno podjęta decyzja o wstrzymaniu pracy reaktora i błąd operatora.

Awaria wytwornicy pary reaktora energetycznego PWR w elektrowni Three Mile Island w Harrisburgu w USA (1979), automatyczne zatrzymanie reaktora i wzrost ciśnienia w pierwotnym obiegu chłodzenia, a potem błąd operatora, spowodowały przedostanie się do atmosfery gazowych głównie krótkożyciowych radionuklidów, m.in. 10^{17} Bq ^{133}Xe i 4×10^{11} Bq ^{131}I . Pomimo znikomych skutków radiacyjnych, wypadek spowodował wzrost radiofobii i znaczne, przesadne zaostrożenie przepisów bezpieczeństwa w sektorze jądrowym USA, co na długie lata ograniczyło rozwój energetyki jądrowej w tym kraju.

Były to m.in. awarie sputników, które spłonęły w atmosferze wprowadzając do niej około 6×10^{12} Bq ^{238}Pu ($T_{1/2} = 87,7$ lat) w postaci mikroskopijnych ($5 \div 58 \mu\text{m}$) cząstek (1964, amerykański SNAP-9a) oraz około 20 kg wysoko-wzbogaconego uranu wraz ze znaczną ilością produktów rozszczepienia (1978, radziecki Kosmos-954). Inne skażenia izotopami i o bardziej lokalnym charakterze, spowodowane były wypadkami amerykańskich bombowców niosących bomby wodorowe (Palomares, Hiszpania, 1966; Thule, Grenlandia, 1968). Wybuchy ładunków prochowych (nie jądrowe!) po uderzeniu bomb o ziemię spowodowały rozprzestrzenienie się ponad 10^{13} Bq plutonu i skażenie kilku km^2 przyległych terenów. Opisane zostały również wypadki radiacyjne spowodowane albo niewłaściwym nadzorem nad wysokoaktywnymi źródłami promieniotwórczymi (Meksyk, Maroko i Brazylia w latach 80.), albo błędami w procedurach pracy z substancjami promieniotwórczymi (Tokaimura, Japonia, 1999), które łącznie doprowadziły do śmierci kilkunastu osób i do znacznego napromienienia wielu innych. W porównaniu z wypadkami i awariami w innych sektorach przemysłu na świecie, liczba ofiar w sektorze jądrowym jest najmniejsza. Od czasu awarii w Czarnobylu w 1986 roku, informacje o wszystkich zdarzeniach radiacyjnych są gromadzone w postaci ogólnie dostępnych raportów na specjalnej stronie międzynarodowej Agencji Energii Atomowej <http://www-news.iaea.org/news/default.asp>, (NEWS, Nuclear Events Web base System), a stopień zagrożenia radiacyjnego przedstawiany zgodnie Międzynarodową skalą zdarzeń jądrowych i radiologicznych (ang. International Nuclear Event Scale), stworzoną przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej do oceniania skutków awarii jądrowych, oraz sprawnego i

jednoznacznego informowania opinii publicznej o zdarzeniach w obiektach jądrowych. Obecnie jest ona stosowana w ponad 60 krajach, w tym w Polsce. Skala obejmuje 7 punktów (0: odstępstwo, 1-3: incydenty, 4-7: awarie).

7	Wielka awaria
6	Poważna awaria
5	Awaria z zagrożeniem poza obiektem
4	Awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem
3	Poważny incydent
2	Incydent
1	Anomalia

Poziom 0: Wypadek nie powoduje skutków, które mogłyby go zakwalifikować do innych poziomów.

Poziom 1: "Anomalia". Wypadek powodujący zakłócenie normalnej pracy przy obiekcie lub przedmiocie promieniotwórczym. Przykładem może być np. wypadek przy transporcie odpadów radioaktywnych bez uszkodzenia pojemników czy drobne uszkodzenie rurociągów z takowymi substancjami. Nie ma zagrożenia pracowników ze względu na promieniowanie.

Poziom 2: "Incydent". Wypadek zakłócający normalną pracę, mogący spowodować nadmierne napromieniowanie personelu. Nadmierne napromieniowanie oznacza przyjęcie promieniowania większego niż statystyczna dawka roczna (2,5 mSv). Skażenie może przedostać się przez niektóre bariery bezpieczeństwa, lecz zostaje zatrzymane przez pozostałe stopnie zabezpieczeń. Może się pojawić w miejscach

niepożądanych, co prowadzi do podjęcia działań naprawczych. Przykłady: Elektrownia Atomowa Formsack, lipiec 2006

Poziom 3: "Poważny incydent". Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych, jednak największa dawka, jaką może otrzymać człowiek poza obiektem nie przekracza 1 mSv (40% dawki rocznej). Podjęcie środków zaradczych prawdopodobnie nie będzie potrzebne. Zdarzenie na terenie obiektu, które może powodować rozległe skutki zdrowotne u pracowników lub rozległe skażenie na terenie obiektu. Skażenie może zostać łatwo zlikwidowane. Incydent, w wyniku którego jakakolwiek dalsza niesprawność systemów bezpieczeństwa może hipotetycznie doprowadzić do awarii.

Przykłady: El Vandelloos, Hiszpania, 1989

Poziom 4: "Awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem". Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych, jednak największa dawka, jaką może otrzymać człowiek poza obiektem nie przekracza kilku milisiwertów. Podjęcie środków zaradczych prawdopodobnie nie będzie potrzebne, za wyjątkiem kontroli żywności. Przykłady: Zakłady Przeróbki Paliwa Windscale, Wielka Brytania, 1973

Awaria powodująca znaczne uszkodzenie obiektu jądrowego i powodująca trudne do naprawienia straty, np. częściowe stopienie rdzenia reaktora lub porównywalne zdarzenia w obiektach niereaktorowych.

Przykłady: Elektrownia atomowa Saint Laurent, Francja, 1980, Prawdopodobieństwo napromieniowania jednego lub kilku pracowników teoretyczną dawką śmiertelną. Przykłady: Buenos Aires, Argentyna, 1983.

Poziom 5: "Awaria z zagrożeniem poza obiektem". Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od setek do tysięcy terabekereli jodu-131. Prawdopodobnie będzie konieczne częściowe podjęcie środków zaradczych. Przykład: Pożar w Windscale, Wielka Brytania, 1957. Poważne uszkodzenie obiektu, jak np. stopienie większości rdzenia, poważny pożar w reaktorze, powodujące uwolnienie dużych ilości materiałów radioaktywnych wewnątrz obiektu. Przykład: Wypadek w elektrowni jądrowej Three Mile Island, USA, 1979

Dotychczas cztery wydarzenia zakwalifikowano do poziomu 5 (Pożar w Windscale, Three Mile Island oraz niezwiązane z reaktorem jądrowym Skażenie w Goiânii), Elektrownia Atomowa Fukushima I w Ōkuma, Japonia, 2011.

Poziom 6: **"Poważna awaria"**. Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od tysięcy do dziesiątków tysięcy terabekereli jodu-131. Prawdopodobnie będzie konieczne pełne podjęcie środków zaradczych, przewidzianych w planach postępowania awaryjnego. Przykłady: Zakład Przetwórstwa Paliwa Jądrowego w Kysztymie, ZSRR, 1957.

Poziom 7: "Wielka awaria". Uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych, w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia ponad dziesiątków tysięcy terabekereli jodu-131. Konieczne ewakuacje terenów skażonych i podjęcia działań odkażających, możliwe ofiary śmiertelne i długotrwałe skażenie terenu mieszaną krótko- i długożyciowych pierwiastków radioaktywnych. Możliwe, że skażenie przekroczy granice kraju gdzie znajduje się jego źródło. Występują długotrwałe skutki środowiskowe.

Jedyny przykład: katastrofa w Czarnobylu, były Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich, 1986.

ROZDZIAŁ 10

PRZEPISY TRANSPORTOWE

10.1. Podstawy prawne

Materiał niniejszego rozdziału podręcznika będzie opierał się na dwóch podstawowych aktów prawnych dotyczących poruszanego zagadnienia, a mianowicie:

- Ustawa z dnia 28 października 2002 r. o przewozie drogowym towarów niebezpiecznych (**Dz. U. nr 199/2002, poz. 1671**);
- Umowie Europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych – ratyfikowanej przez Polskę w 1975 r. (**Dz. U. nr 27/2009, poz. 162**).

ADR (z *francuskiego*: L' Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route) - jest to międzynarodowa konwencja dotycząca drogowego przewozu towarów i ładunków niebezpiecznych, sporządzona w Genewie dnia 30 września 1957 r.

Umowa ADR jest nowelizowana co dwa lata w roku nieparzystym. Od 1 stycznia danego roku obowiązuje nieobligatoryjnie (można stosować wersję poprzednią konwencji), od 1 lipca obowiązuje zawsze obligatoryjnie. Aktualnie obowiązująca wersja Umowy ADR to wersja 2009 – która obowiązuje obligatoryjnie od 1 lipca 2009 roku. W najbliższym czasie powinna ukazać się wersja 2011 (która obligatoryjnie zacznie obowiązywać od 1 lipca 2011 roku).

Tekst Umowy składa się ona z Umowy właściwej oraz z załączników A i B, będących jej integralną częścią. Umowa właściwa określa stosunki prawne między uczestniczącymi państwami, natomiast załączniki zawierają przepisy regulujące w szerokim zakresie warunki przewozu poszczególnych materiałów niebezpiecznych w międzynarodowym transporcie samochodowym.

Ustawa z dnia 28 października 2002 r. o przewozie drogowym towarów niebezpiecznych określa zasady przewozu drogowego towarów niebezpiecznych, wymagania w stosunku do kierowców i innych osób wykonujących czynności związane z tym

przewozem, zasady dokonywania oceny zgodności ciśnieniowych urządzeń transportowych oraz organy właściwe do sprawowania nadzoru i kontroli w tych sprawach.

Oczywiście zarówno cytowana wyżej Ustawa jak i umowa ADR dotyczą wszystkich towarów niebezpiecznych, więc my w niniejszym rozdziale skupimy się tylko na tematyce związanej z treścią podręcznika, a więc na przepisach dotyczących przewozu materiałów promieniotwórczych.

10.2. Podział towarów niebezpiecznych, zasady przewozu

Przepisy ADR dokonują podziału wszystkich produkowanych na świecie materiałów niebezpiecznych na 13 klas zagrożeń oraz zawierają szczegółową klasyfikację tych materiałów w poszczególnych klasach.

KLASY TOWARÓW NIEBEZPIECZNYCH:

- **1** – Materiały i przedmioty wybuchowe
- **2** – Gazy
- **3** – Materiały ciekłe zapalne
- **4.1** – Materiały stałe zapalne
- **4.2** – Materiały samozapalne
- **4.3** – Materiały wytwarzające w zetknięciu z wodą gazy zapalne
- **5.1** – Materiały utleniające
- **5.2** – Nadtlenki organiczne
- **6.1** – Materiały trujące
- **6.2** – Materiały zakaźne
- **7** – **Materiały promieniotwórcze**
- **8** – Materiały żrące

– 9 – Różne materiały i przedmioty niebezpieczne



Oznakowanie 7 klasy towarów niebezpiecznych wg Umowy ADR (materiały promieniotwórcze)

Klasa ta obejmuje materiały (ciekłe, stałe i gazy), które emitują promieniowanie jonizujące (zmieniające strukturę materii). Kontakt z takimi materiałami może powodować uszkodzenia biologiczne organizmu (choroby nowotworowe, zmiany genetyczne) lub śmierć (w przypadku dużej dawki promieniowania). Materiał promieniotwórczy może dodatkowo charakteryzować się zagrożeniami występującymi w pozostałych klasach (zapalność, działanie trujące, żrące itd.).

Podstawowe grupy w klasie:

1. źródła promieniotwórcze
2. materiały rozszczepialne
3. przedmioty skażone powierzchniowo
4. próżne opakowania

Zabrania się przewozu drogowego towarów niebezpiecznych określonych w przepisach umowy ADR jako towary niedopuszczone do międzynarodowego przewozu drogowego.

Zezwala się na przewóz drogowy towarów niebezpiecznych określonych w umowie ADR jako towary dopuszczone do międzynarodowego przewozu drogowego, wyłącznie na warunkach określonych w tej umowie.

Dopuszcza się odstępstwa od przepisów ustawy w przypadku przewozu towarów niebezpiecznych:

- 1) pojazdami będącymi w dyspozycji Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej - na warunkach i w trybie określonych odrębnymi przepisami, w przypadkach uzasadnionych względami obronności państwa lub koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa i porządku publicznego;

- 2) wykonywanego lub nadzorowanego przez służby ratownicze, w celu:
 - a) ratowania życia lub zdrowia,
 - b) usuwania skutków katastrof lub klęsk żywiołowych;
- 3) w innych przypadkach wskazanych w umowie ADR.

Przy krajowym przewozie drogowym towarów niebezpiecznych nie obowiązują wymagania umowy ADR dotyczące używania języków innych niż język polski.

Jeżeli przepisy umowy ADR zobowiązują właściwą władzę krajową lub upoważnioną przez nią organizację do wykonania odpowiednich czynności administracyjnych, w przypadku gdy nie zostało to określone inaczej w innych przepisach ustawy, czynności tych dokonują:

- 1) **Prezes Państwowej Agencji Atomistyki** lub jednostka upoważniona przez niego w drodze zarządzenia - w sprawach warunków przewozu drogowego **materiałów promieniotwórczych**;
- 2) (.....)

Celem ADR jest ochrona ludzi, mienia i środowiska przed skutkami promieniowania podczas przewozu materiałów promieniotwórczych.

Ochronę tę osiąga się za pomocą następujących wymagań:

- a) szczelnego naczynia dla zawartości promieniotwórczej;
- b) kontroli poziomu promieniowania zewnętrznego;
- c) zapobiegania osiągnięciu stanu krytycznego; oraz
- d) zapobiegania szkodom powodowanym przez ciepło.

W przypadku narażenia zawodowego wynikającego z działalności transportowej, jeżeli ocenia się, że otrzymanie dawki skutecznej:

- a. **od 1mSv do 6 mSv na rok** jest prawdopodobne, to wymaga się programu dla oceny dawek indywidualnych poprzez kontrolę środowiska pracy lub prowadzenia kontroli dawek indywidualnych;
- b. **większej niż 6 mSv na rok** jest prawdopodobne, to wymaga się prowadzenia kontroli dawek indywidualnych.

Jeżeli prowadzona jest kontrola dawek indywidualnych lub kontrola miejsca pracy, to powinny być przechowywane odpowiednie rejestry tych czynności.

Moc dawki przy dowolnej, zewnętrznej powierzchni pojazdu: nie może przekroczyć **2 mSv/h**. Moc dawki w odległości 2 metrów od dowolnej burty pojazdu: nie może być większa niż **100 µSv/h**. Moc dawki w kabinie kierowcy zależna jest od zakwalifikowania kierowcy do grupy narażenia.

Klasyfikacja materiałów promieniotwórczych:

Wyłączone sztuki przesyłki

- o **UN 2908** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, WYŁĄCZONA SZTUKA PRZESYŁKI - PRÓŻNE OPAKOWANIE
- o **UN 2909** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, WYŁĄCZONA SZTUKA PRZESYŁKI - PRZEDMIOTY WYPRODUKOWANE Z URANU NATURALNEGO lub URANU ZUBOŻONEGO lub TORU NATURALNEGO
- o **UN 2910** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, WYŁĄCZONA SZTUKA PRZESYŁKI - MATERIAŁ W ILOŚCI OGRANICZONEJ
- o **UN 2911** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, WYŁĄCZONA SZTUKA PRZESYŁKI - PRZYRZĄDY lub PRZEDMIOTY

Materiał o niskiej aktywności właściwej

- o **UN 2912** MATERIAŁ O NISKIEJ AKTYWNOŚCI WŁAŚCIWEJ (LSA-I), nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony

- o UN 3321 MATERIAŁ O NISKIEJ AKTYWNOŚCI WŁAŚCIWEJ (LSA-II), nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o UN 3322 MATERIAŁ O NISKIEJ AKTYWNOŚCI WŁAŚCIWEJ (LSA-III), nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o UN 3324 MATERIAŁ O NISKIEJ AKTYWNOŚCI WŁAŚCIWEJ (LSA-II), ROZSZCZEPIALNY
- o UN 3325 MATERIAŁ O NISKIEJ AKTYWNOŚCI WŁAŚCIWEJ (LSA-III), ROZSZCZEPIALNY

Przedmioty skażone powierzchniowo

- o UN 2913 MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, PRZEDMIOTY SKAŻONE POWIERZCHNIOWO (SCO-I lub SCO-II), nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o UN 3326 MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, PRZEDMIOTY SKAŻONE POWIERZCHNIOWO (SCO-I lub SCO-II), ROZSZCZEPIALNY

Sztuki przesyłki Typu A

- o UN 2915 MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU A, w postaci niespecjalnej, nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o UN 3327 MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU A, ROZSZCZEPIALNY, w postaci niespecjalnej
- o UN 3332 MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU A, W POSTACI SPECJALNEJ, nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o UN 3333 MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU A, W POSTACI SPECJALNEJ, ROZSZCZEPIALNY

Sztuki przesyłki Typu B(U)

- o **UN 2916** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU B(U), nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o **UN 3328** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU B(U), ROZSZCZEPIALNY

Sztuki przesyłki Typu B(M)

- o **UN 2917** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU B(M), nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o **UN 3329** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU B(M), ROZSZCZEPIALNY

Sztuki przesyłki Typu C

- o **UN 3323** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU C, nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o **UN 3330** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZTUKA PRZESYŁKI TYPU C, ROZSZCZEPIALNY

Warunki specjalne

- o **UN 2919** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, TRANSPORTOWANY NA WARUNKACH SPECJALNYCH, nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony
- o **UN 3331** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, TRANSPORTOWANY NA WARUNKACH SPECJALNYCH, ROZSZCZEPIALNY

Sześćciofluorek uranu

- o **UN 2977** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZEŚCIOFLUOREK URANU, ROZSZCZEPIALNY
- o **UN 2978** MATERIAŁ PROMIENIOTWÓRCZY, SZEŚCIOFLUOREK URANU, nierozszczepialny lub rozszczepialny-wyłączony

10.3. Pojazdy i opakowania

Przewóz drogowy towarów niebezpiecznych może odbywać się pojazdem samochodowym lub zespołem pojazdów, z wyłączeniem motocykla oraz zespołu pojazdów składającego się z motocykla i przyczepy.

Pojazd przewożący towary niebezpieczne powinien być odpowiednio przystosowany, wyposażony i oznakowany zgodnie z umową ADR.

Opakowania, kontenery i cysterny służące do przewozu towarów niebezpiecznych powinny odpowiadać postanowieniom umowy ADR.

Poniżej zostały przedstawione

KATEGORIE SZTUK PRZESYŁKI i ich oznakowanie:



kategoria I-BIAŁA

poziom promieniowania

na powierzchni do 0,005 mSv/h (włącznie)



kategoria II-ŻÓŁTA

poziom promieniowania na powierzchni

od 0,005 do 0,5 mSv/h (włącznie)

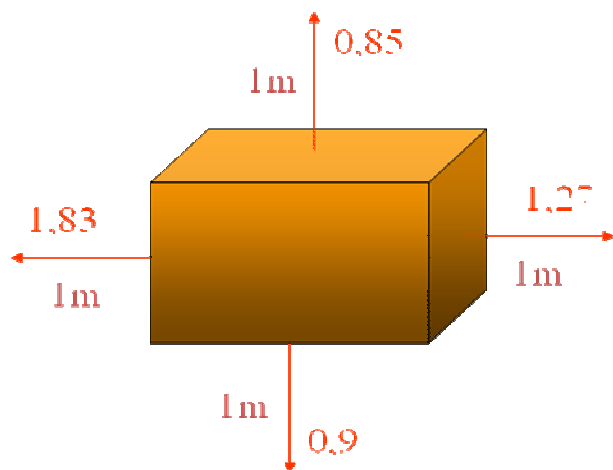


kategoria III-ŻÓŁTA

poziom promieniowania na powierzchni

od 0,5 do 2 mSv/h (włącznie)

Wskaźnik transportowy (Transport Index) – jest to największy poziom promieniowania zmierzony w odległości **1 metra** od sztuki przesyłki. Maksymalny wskaźnik transportowy nie może przekroczyć wartości 10



W pokazanym obok przypadku $TI = 1,9$ (największa ze zmierzonych wartości, zaokrąglona w górę z dokładnością do 0,1)

Sygnalizacja zagrożeń – nalepki ostrzegawcze:



nr 7A



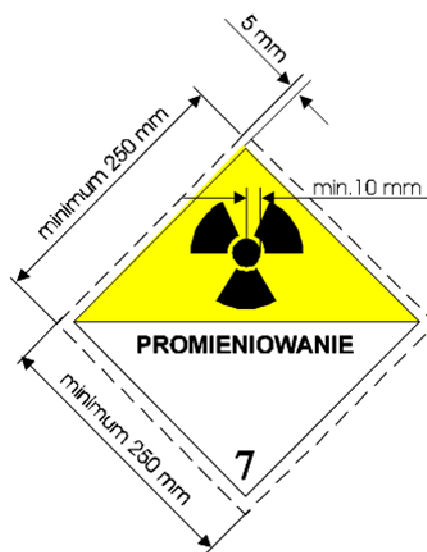
nr 7B



nr 7C



nr 7E

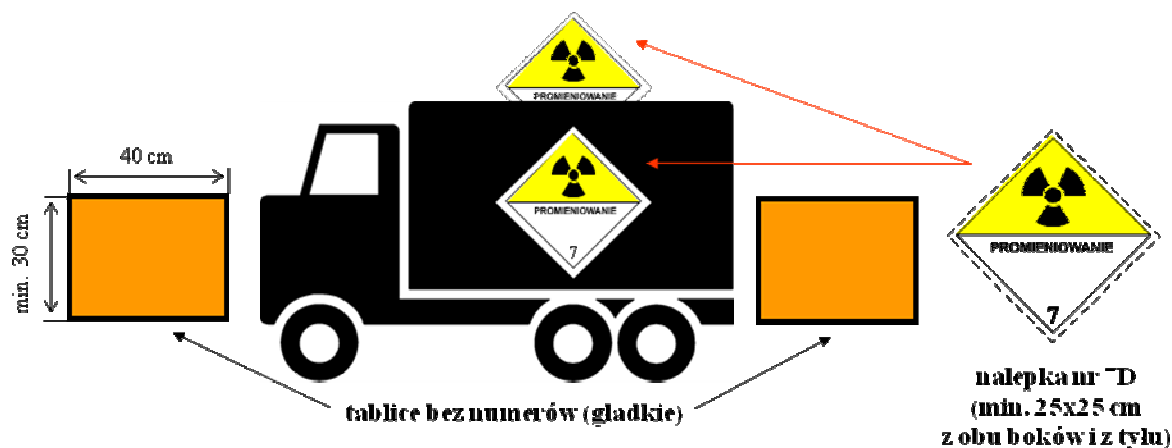


nr 7D

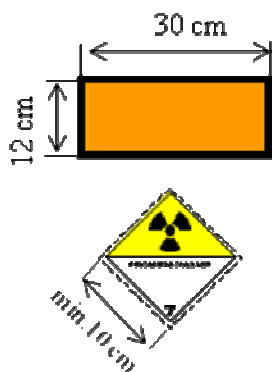
Typy opakowań:

- **Opakowania typu A** - zapewniają szczelność i osłonność ładunku, jednak charakteryzują się mniejszą wytrzymałością na uszkodzenia niż opakowania typu. Zakłada się również, że opakowanie może zostać uszkodzone w czasie transportu, a jego zawartość wydostać się na zewnątrz.
- **Opakowania typu B** - charakteryzują się podwyższoną wytrzymałością mechaniczną i termiczną, gdyż muszą zapewnić szczelność i osłonność ładunku nawet w razie poważnych wypadków transportowych. Używane są do przewozu najbardziej radioaktywnych materiałów.
- **Opakowania przemysłowe / IP /** - służą do transportu materiałów o niskiej aktywności lub przedmiotów skażonych powierzchniowo.
- **Opakowania tzw. wyłączone** - używane są do transportu bardzo małych ilości materiałów promieniotwórczych, np. radiofarmaceutyków czy urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze o bardzo małej aktywności.

Sposoby oznakowania pojazdów przewożących materiały klasy 7:



W przypadku małych pojazdów można zastosować nalepki i tablice o zmniejszonych wymiarach:



**zmniejszone tablice i nalepki dla małych pojazdów
(brak miejsca na umieszczenie tablic 30x40 cm i nalepek 25x25 cm)**

10.4. Kierowcy przewożący towary niebezpieczne.

Do kierowania pojazdem przewożącym towary niebezpieczne, w stosunku do którego umowa ADR wymaga ukończenia przez jego kierowcę kursu lub kursów doszkalających, jest uprawniona osoba, która:

1. ukończyła 21 lat;
2. spełnia wymogi określone w odrębnych przepisach w stosunku do kierowców przewożących towary niebezpieczne;
3. posiada zaświadczenie ADR.

Zaświadczenie ADR otrzymuje po raz pierwszy osoba, która spełnia powyższe wymagania i która ukończyła z wynikiem pozytywnym kurs doszkalający początkowy. Zaświadczenie ADR jest wydawane przez jednostkę prowadzącą kurs na okres 5 lat, licząc od dnia złożenia z wynikiem pozytywnym egzaminu.

W roku poprzedzającym datę upływu ważności zaświadczenia ADR, kierujący pojazdem jest obowiązany ukończyć kurs doszkalający doskonalący. Po ukończeniu tego kursu, z wynikiem pozytywnym, jednostka prowadząca kurs przedłuża ważność zaświadczenia ADR albo wydaje nowe zaświadczenie ADR, na okres kolejnych 5 lat. Kursy doszkalające uznaje się za ukończone z wynikiem pozytywnym, jeżeli osoba w nich uczestnicząca zda egzamin przed trzyosobową komisją egzaminacyjną, powołaną przez jednostkę prowadzącą kurs.

Zakres egzaminu obejmuje sprawdzenie w szczególności:

1. znajomości przepisów krajowych oraz umów międzynarodowych dotyczących przewozu drogowego towarów niebezpiecznych;
2. wiedzy na temat przyczyn wypadków z towarami niebezpiecznymi, działań zapobiegawczych oraz czynności podejmowanych bezpośrednio po wypadku.

Przewodniczącym komisji jest osoba wyznaczona przez marszałka województwa.

Osoby, inne niż kierowcy zobowiązani do posiadania zaświadczenia ADR, zatrudnione przy przewozie towarów niebezpiecznych lub czynnościach związanych z tym przewozem, w tym przy załadunku lub rozładunku, powinny zostać przeszkolone przez przedsiębiorcę lub na jego koszt w zakresie odpowiednim do odpowiedzialności i obowiązków tych osób.

Kierujący pojazdem przewożącym towary niebezpieczne, oprócz dokumentów wymaganych odrębnymi przepisami i wiążącymi umowami międzynarodowymi, jest obowiązany mieć przy sobie i okazywać na żądanie organów lub osób uprawnionych do przeprowadzania kontroli:

1. **dokument przewozowy**, zawierający opis każdego z przewożonych towarów niebezpiecznych, w szczególności jego numer rozpoznawczy, nazwę i ilość;
2. **instrukcje pisemne na wypadek awarii** dotyczące wszystkich przewożonych towarów niebezpiecznych, zgodne z zakresem, formą i językiem określonymi przez umowę ADR;
3. **zaświadczenie ADR**.

10.5. Postępowanie w sytuacjach awaryjnych.

W przypadku, gdy dojdzie do wypadku drogowego z udziałem samochodu przewożącego materiały promieniotwórcze, do obowiązków kierowcy takiego samochodu należy:

- zabezpieczenie miejsca wypadku (wyłączyć silnik, oznakować miejsce wypadku, usunąć osoby postronne)

- powiadomienie służb ratowniczych (Policja, Straż Pożarna, Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych PAA - CEZAR)

– Telefon CEZAR-a: **22-19430** lub **22-6210256**

- wykonanie działań zapisanych w instrukcjach dla kierowcy oraz działań poleconych przez Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych

UWAGA!!!! (bardzo ważne)

- **przed dokonaniem oceny zagrożenia NIE PRZEMIESZCZAĆ USZKODZONYCH SZTUK PRZESYŁKI**
- **przed przybyciem Straży Pożarnej NIE PODEJMOWAĆ GASZENIA POŻARU OBEJMUJĄCEGO ŁADUNEK**

10.6. Nadzór i kontrola.

Nadzór nad przewozem drogowym towarów niebezpiecznych sprawuje wojewoda.

Przedsiębiorca oraz inny podmiot wykonujący przewóz towarów niebezpiecznych lub związany z tym przewozem załadunek lub rozładunek jest obowiązany prowadzić nadzór wewnętrzny nad tymi czynnościami i w tym celu wyznaczyć, na swój koszt, doradcę do spraw bezpieczeństwa w transporcie towarów niebezpiecznych.

Do zadań doradcy należy w szczególności:

1. doradztwo w zakresie przewozu towarów niebezpiecznych;
2. ocena zgodności realizacji przewozu z wymaganiami określonymi w ustawie i umowie ADR;
3. sporządzanie rocznego sprawozdania z działalności przedsiębiorcy lub innego podmiotu w zakresie przewozu towarów niebezpiecznych oraz czynności z tym związanych,
4. sporządzanie raportów powypadkowych dla przedsiębiorcy lub innego podmiotu, wojewódzkiego komendanta Państwowej Straży Pożarnej oraz innych organów prowadzących odpowiednie postępowanie związane z wypadkiem, jeżeli w związku z

przewozem towarów niebezpiecznych doznały obrażeń osoby, wystąpiła szkoda majątkowa lub nastąpiło skażenie środowiska.

Szczegółowe zadania i kompetencje doradcy określa umowa ADR

Doradcą może być osoba, która:

1. ukończyła 21 lat;
2. posiada wykształcenie wyższe;
3. nie była karana za przestępstwo umyślne;
4. posiada świadectwo przeszkolenia doradcy do spraw bezpieczeństwa w zakresie transportu towarów niebezpiecznych.

Świadectwo doradcy po raz pierwszy otrzymuje osoba, która:

1. spełnia wymagania określone powyżej;
2. ukończyła z wynikiem pozytywnym kurs początkowy dla kandydatów na doradców, obejmujący szkolenie w zakresie zagrożeń związanych z przewozem towarów niebezpiecznych oraz przepisów obowiązujących w tym zakresie;
3. złożyła z wynikiem pozytywnym egzamin dla kandydatów na doradców przed komisją egzaminacyjną powołaną przez wojewódzkiego inspektora transportu drogowego.

Świadectwo doradcy jest wydawane przez wojewódzkiego inspektora transportu drogowego na okres 5 lat, licząc od dnia złożenia z wynikiem pozytywnym egzaminu.

Kontrolę przewozu drogowego towarów niebezpiecznych oraz wymagań związanych z tym przewozem wykonują:

1. *inspektorzy Inspekcji Transportu Drogowego* - na drogach, parkingach oraz na terenie przedsiębiorcy posiadającego towary niebezpieczne;
2. *funkcjonariusze Państwowej Straży Pożarnej* - na terenie przedsiębiorcy posiadającego towary niebezpieczne;
3. *policjanci* - na drogach i parkingach;
4. *funkcjonariusze Straży Granicznej* - na obszarze objętym zasięgiem terytorialnym przejścia granicznego oraz w strefie nadgranicznej;
5. *inspektorzy Państwowej Inspekcji Pracy* - na terenie przedsiębiorcy posiadającego towary niebezpieczne;
6. *funkcjonariusze służby celnej*;

7. *żołnierze Żandarmerii Wojskowej i wojskowych organów porządkowych* - w stosunku do pojazdów Sił Zbrojnych;
8. *uprawnieni pracownicy Państwowej Agencji Atomistyki* - na parkingach oraz na terenie przedsiębiorcy posiadającego towary niebezpieczne;
9. *uprawnieni pracownicy Transportowego Dozoru Technicznego* - na parkingach oraz na terenie przedsiębiorcy posiadającego towary niebezpieczne;
10. *uprawnieni pracownicy Inspekcji Ochrony Środowiska* - na parkingach oraz na terenie przedsiębiorcy posiadającego towary niebezpieczne;
11. *uprawnieni pracownicy zarządów dróg* - w miejscach określonych w ich uprawnieniach.

Osoby przeprowadzające kontrolę są obowiązane do sprawdzenia:

1. klasyfikacji towaru niebezpiecznego;
2. stosowania opakowania, cysterny lub pojazdu;
3. oznakowania opakowań i ich zawartości;
4. przestrzegania zakazów pakowania razem określonych towarów;
5. przestrzegania zakazów ładowania razem określonych towarów;
6. sposobu rozmieszczenia i zabezpieczenia towarów na pojeździe;
7. stanu technicznego opakowań i cystern użytych do przewozu;
8. stanu technicznego pojazdu użytego do przewozu, jego oznakowania i wyposażenia;
9. sposobu przewozu;
10. kwalifikacji kierowcy;
11. kwalifikacji innych osób wykonujących czynności związane z przewozem drogowym towarów niebezpiecznych;
12. dokumentów wymaganych przy tym przewozie.

Osoby przeprowadzające kontrolę są obowiązane podczas każdej kontroli wypełnić listę kontrolną. Wypełnioną listę kontrolną przekazuje się wojewódzkiemu inspektorowi transportu drogowego, a jej kopię kontrolowanemu.

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości związanych z przewozem towaru niebezpiecznego, mających wpływ na bezpieczeństwo tego przewozu, osoba przeprowadzająca kontrolę ma prawo:

1. uniemożliwić przekroczenie granicy pojazdem, jeżeli pojazd znajduje się w zasięgu terytorialnym przejścia granicznego;
2. spowodować, aby na koszt właściciela lub posiadacza pojazdu pojazd ten wraz z ładunkiem został usunięty i zdeponowany w miejscu postojowym umożliwiającym bezpieczne jego pozostawienie.

Pojazd może być zwrócony uprawnionej osobie po usunięciu nieprawidłowości i wniesieniu opłaty pokrywającej koszty związane z jego usunięciem, parkowaniem i czynnościami zabezpieczającymi.

ROZDZIAŁ 11

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE

Stosowanie różnego rodzaju substancji promieniotwórczych w wielu gałęziach gospodarki oraz w energetyce jądrowej jest przyczyną powstawania odpadów promieniotwórczych. Odpady powstają we wszystkich niemal etapach produkcji, przeróbki i wykorzystywania materiałów promieniotwórczych.

Podczas pracy ze źródłami otwartymi stale powstają odpady radioaktywne np.: puste fiolki po cieczach promieniotwórczych, bibuła filtracyjna stosowana na sączki, materiał biologiczny używany do badań, roztwory po dekontaminacji, wata czy lignina stosowana do usuwania skażeń, rękawice gumowe używane podczas pracy. Mogą to być również gazy i powietrze zawierające pary i aerozole promieniotwórcze.

W przypadku źródeł zamkniętych odpadami promieniotwórczymi stają się same źródła, które na skutek utraty szczelności np. w wyniku uszkodzenia obudowy źródła bądź których aktywność w wyniku rozpadu spadła do zbyt niskiego poziomu, nie nadają się do dalszego wykorzystania.

Odpady mogą powodować istotne zagrożenia dla ludzi i środowiska. Aby ograniczyć to ryzyko powinny być one „unieszkodliwione”. Niestety obecnie nie ma możliwości technicznych sprawienia by substancja promieniotwórcza stała się „niepromieniotwórcza”. Można jedynie podjąć działania, w wyniku których odpady promieniotwórcze nie będą stanowiły zagrożenia dla środowiska.

W przypadku izotopów krótkożyciowych stosuje się metodę „wygaszania”, polegającą na przechowywaniu odpadów – zwykle, jeśli jest to technicznie możliwe, w miejscu ich powstania – przez dostatecznie długi czas, aby ich aktywność zmalała do poziomu, poniżej którego, zgodnie z obowiązującymi przepisami, substancje te nie są traktowane jako odpady promieniotwórcze.

Odpady długożyciowe magazynowane są w formie, która zapewnia nieprzedostawanie się substancji radioaktywnych do środowiska przez bardzo długi czas. Osiąga się to poprzez zmniejszenie ich objętości np. w przypadku odpadów stałych przez prasowanie odpadów

niepalnych oraz przez spalanie odpadów palnych a w przypadku odpadów ciekłych np. przez sorpcję na sorbentach nieorganicznych lub przez zagęszczanie ich w instalacjach wyparnych.

Po ww. zabiegach przygotowuje się odpady do bezpiecznego przechowywania przez wiele lat. Sprasowane odpady stałe umieszczane są w hermetycznych, specjalnych pojemnikach, natomiast szlamy i koncentraty powyparne są zestalane w asfalcie, żywicach, tworzywach sztucznych lub szkłe i umieszczane w hermetycznych beczkach. Tak przygotowane odpady przewozi się do ostatecznego składowania na specjalnie wyznaczone miejsca – składowiska.

Postępowanie z odpadami promieniotwórczymi oraz wypalonym paliwem jądrowym w kraju reguluje ustawa Prawo atomowe (Dz. U. z 2007 r., Nr 42, poz. 276 z późn. zm.) oraz Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego.(Dz. U. z 2002 r., Nr 230, poz. 1925).

Według określeń podanych w ustawie Prawo atomowe **odpady promieniotwórcze** to materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, których wykorzystanie jest niecelowe lub niemożliwe natomiast **wypalone paliwo jądrowe** to paliwo jądrowe, które zostało napromieniowane w rdzeniu reaktora oraz na stałe usunięte z rdzenia.

Zgodnie z ww. regulacjami prawnymi odpady promieniotwórcze kwalifikowane są ze względu na poziom aktywności lub moc dawki na powierzchni do kategorii odpadów: niskoaktywnych, średnioaktywnych i wysokoaktywnych. Kategorie mogą być podzielone na podkategorie ze względu na okres połowicznego rozpadu zawartych w odpadach izotopów promieniotwórczych lub wydzielaną moc cieplną.

Wycofane z użytkowania (zużyte) zamknięte źródła promieniotwórcze tworzą dodatkową kategorię odpadów promieniotwórczych.

Zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze kwalifikowane są ze względu na poziom aktywności do podkategorii zużytych zamkniętych źródeł: niskoaktywnych, średnioaktywnych i wysokoaktywnych, które ze względu na okres połowicznego rozpadu zawartych w nich izotopów dzieli się na krótkożyciowe i długożyciowe.

Kwalifikacji odpadów promieniotwórczych dokonuje **kierownik** jednostki organizacyjnej, na terenie której znajdują się odpady, a w momencie przyjmowania odpadów kierownik jednostki organizacyjnej przyjmującej odpady promieniotwórcze.

Kwalifikacji odpadów promieniotwórczych może dokonać **Prezes Agencji** w przypadku:

- 1) **rozbieżności** między kwalifikacją dokonaną przez kierownika jednostki organizacyjnej, na terenie której znajdują się odpady, a kwalifikacją dokonaną przez kierownika jednostki organizacyjnej przyjmującej odpady;
- 2) stwierdzenia **nieprawidłowości** w kwalifikacji, dokonanej przez ww. osoby.

Kierownik jednostki organizacyjnej, na terenie której znajdują się odpady promieniotwórcze lub wypalone paliwo jądrowe, obowiązany jest prowadzić ich **ewidencję**. Ewidencjonowanie obejmuje każdy z rodzajów działań w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi lub wypalonym paliwem jądrowym.

Odpady promieniotwórcze zawierające **materiał jądrowy** oraz wypalone paliwo jądrowe podlegają **ochronie fizycznej**.

Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwo jądrowe przechowuje się w warunkach umożliwiających ich segregację oraz w sposób zapewniający ochronę ludzi i środowiska.

Odpady promieniotwórcze ciekłe lub gazowe, powstałe w wyniku działalności, na prowadzenie której wymagane jest uzyskanie zezwolenia albo zgłoszenia w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, mogą być odprowadzane do środowiska, o ile ich stężenie promieniotwórcze w środowisku może być pominięte z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Sposób **odprowadzania** odpadów i ich dopuszczalną aktywność określa się w **zezwoleniu**.

Odpady promieniotwórcze, które zostały przetworzone lub nie wymagają przetwarzania, oraz wypalone paliwo jądrowe, które nie będzie przerabiane – są składowane **w składowiskach**.

Wypalone **paliwo jądrowe** przeznaczone do składowania traktuje się jak odpady **wysokoaktywne**.

Odpady promieniotwórcze można składować wyłącznie w stanie **stałym**, w opakowaniach zapewniających bezpieczeństwo ludzi i środowiska pod względem ochrony radiologicznej, przy zapewnieniu odprowadzania ciepła i nie dopuszczeniu do powstania **masy krytycznej** oraz prowadzeniu stałej kontroli tych czynników w okresie składowania, a także po zamknięciu składowiska.

Składowiska odpadów promieniotwórczych dzieli się na powierzchniowe i głębokie. Składowisko odpadów promieniotwórczych może być uznane, w drodze **decyzji Prezesa Agencji**, za Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych.

W Polsce Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych zlokalizowane w miejscowości Różan, położonej ok. 100 km na północ od Warszawy. Do składowania odpadów wykorzystywane są stare rosyjskie forty, suche fosy, w których układa się warstwowo pojemniki i beczki z odpadami. Teren składowiska jest strzeżony i kontrolowany. Kontroli poddaje się wodę i glebę na terenie samego składowiska jak i na terenie otaczającym. Nie stwierdzono dotychczas ujemnego wpływu składowiska na sąsiadujące środowisko.

Działalność w zakresie postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym wykonywana jest przez przedsiębiorstwo użyteczności publicznej, Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (**ZUOP**) w Świerku k. Otwocka.

11.1. Sposób kwalifikowania odpadów promieniotwórczych do kategorii i podkategorii

Kryteria podziału odpadów promieniotwórczych na kategorie przedstawione są w tabeli:

Kategoria	Stosunek stężeń promieniotwórczych	Uwagi
Niskoaktywne	$1 < \left(\frac{S_k}{C_k} \text{ lub } \sum_k \frac{S_k}{C_k} \right) \leq 10^4$	k=1 jeden izotop k>1 więcej izotopów

Średnioaktywne	$10^4 < \left(\frac{S_k}{C_k} \text{ lub } \sum_k \frac{S_k}{C_k} \right) \leq 10^7$	
Wysokoaktywne	$\left(\frac{S_k}{C_k} \text{ lub } \sum_k \frac{S_k}{C_k} \right) > 10^7$	

Do kategorii odpadów niskoaktywnych kwalifikuje się również odpady ciekłe, w których stosunek stężeń jest < 1 kiedy:

- okres ich powstawania jest nie dłuższy niż 30 dni,
- stosunek ich aktywności A_k do wartości a_k określonej w załączniku nr 1 do rozporządzenia spełnia warunek:

$$\frac{A_k}{a_k} > 10^3 \text{ (jeden izotop)} \quad \sum_k \frac{A_k}{a_k} > 10^3 \text{ (więcej izotopów)}$$

S_k – stężenie izotopu k w odpadach w kBq/kg

C_k – stężenie izotopu k w odpadach w kBq/kg określone w załączniku nr 1 do rozporządzenia

A_k – aktywność izotopu k w odpadach w Bq

a_k – aktywność izotopu k w odpadach w Bq określona w załączniku nr 1 do rozporządzenia

Nie kwalifikuje się do kategorii odpadów promieniotwórczych niskoaktywnych mas ziemnych lub skalnych, usuwanych lub przemieszczanych w związku z realizacją inwestycji lub prowadzeniem eksploatacji kopalni, wraz z ich przerabianiem, zawierających naturalne izotopy promieniotwórcze, jeżeli suma stosunków maksymalnych stężeń tych izotopów, wynikających z niejednorodności odpadów, do wartości określonych w załączniku nr 1 do rozporządzenia nie przekracza 10 dla reprezentatywnej próbki odpadów o masie 1 kg.

Odpady promieniotwórcze niskoaktywne, średnioaktywne i wysokoaktywne dzieli się na **podkategorie**:

Odpady przejściowe	jeżeli stężenie promieniotwórcze izotopów w tych odpadach w okresie 3 lat od ich powstania obniży się poniżej poziomów kwalifikujących do
---------------------------	---

	odpadów niskoaktywnych
Odpady krótkożyciowe	jeżeli zawierają izotopy krótkożyciowe ($T_{1/2} < 30$ lat) a: - średnie stężenie promieniotwórcze izotopów długożyciowych w tych odpadach nie przekracza 400 kBq/kg - maksymalne stężenie promieniotwórcze izotopów długożyciowych ($T_{1/2} > 30$ lat) w tych odpadach, wynikające z niejednorodności materiału w reprezentacyjnej próbce o masie 1 kg, nie przekracza 4000 kBq
Odpady długożyciowe	jeżeli średnie stężenie promieniotwórcze izotopów długożyciowych ($T_{1/2} > 30$ lat) w tych odpadach przekracza 400 kBq/kg

Zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze kwalifikuje się ze względu na poziom aktywności do **podkategorii**:

niskoaktywnych	jeżeli aktywność zawartych w nich izotopów przekracza wartości określone w załączniku nr 1 do rozporządzenia, ale nie przekracza 10^8 Bq
średnioaktywnych	jeżeli aktywność zawartych w nich izotopów przekracza wartość 10^8 Bq , ale nie przekracza wartości 10^{12} Bq
wysokoaktywnych	jeżeli aktywność zawartych w nich izotopów przekracza wartość 10^{12} Bq

Kwalifikowanie do kategorii lub podział na podkategorie odpadów promieniotwórczych następuje na podstawie pomiarów emitowanego przez nie promieniowania jonizującego i obliczeń stężenia promieniotwórczego izotopów w odpadach przekazywanych do przechowywania, przetwarzania lub składowania, a w przypadku odpadów ciekłych niskoaktywnych, także obliczeń aktywności izotopów.

Kwalifikowanie do podkategorii zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych następuje na podstawie obliczeń ich aktywności lub pomiarów emitowanego przez nie promieniowania jonizującego.

Nie jest dopuszczalne rozcieńczanie odpadów promieniotwórczych w celu **obniżenia stężenia promieniotwórczego** izotopów zawartych w tych odpadach poniżej wartości określonych dla odpadów niskoaktywnych.

11.2. Sposób prowadzenia ewidencji i kontroli odpadów promieniotwórczych oraz wzór karty ewidencyjnej

Kierownik jednostki organizacyjnej, na której terenie powstają odpady promieniotwórcze, prowadzi ich ewidencję na kartach ewidencyjnych odrębnych dla każdego opakowania z odpadami promieniotwórczymi. Wzór karty ewidencyjnej jest określony w załączniku nr 2 do rozporządzenia.

Karty ewidencyjne przekazuje się z odpadami promieniotwórczymi przy każdym z rodzajów działań w postępowaniu z odpadami (przemieszczaniu, przechowywaniu, przetwarzaniu lub składowaniu).

Kopie kart ewidencyjnych przekazujący przechowuje przez okres **co najmniej 3 lat** od dnia przekazania.

W przypadku obniżenia się stężenia promieniotwórczego izotopów zawartych w odpadach promieniotwórczych poniżej wartości określonych dla odpadów niskoaktywnych oraz w przypadku gdy nie są spełnione warunki określone dla ciekłych odpadów niskoaktywnych w karcie ewidencyjnej w punkcie "Wyniki kontroli" wpisuje się:

- 1) datę i sposób stwierdzenia obniżenia się stężenia promieniotwórczego;
- 2) imię i nazwisko osoby, która dokonała stwierdzenia obniżenia się stężenia promieniotwórczego;

- 3) sposób dalszego postępowania z odpadem, który przestał być odpadem promieniotwórczym.

W przypadku odpadów promieniotwórczych odprowadzanych do środowiska na warunkach określonych w zezwoleniu, w karcie ewidencyjnej w punkcie "Wyniki kontroli" wpisuje się:

- 1) datę i sposób stwierdzenia spełnienia warunków zezwolenia;
- 2) imię i nazwisko osoby, która stwierdziła spełnienie warunków zezwolenia;
- 3) sposób dalszego postępowania z odpadem promieniotwórczym.

Karty ewidencyjne zawierające powyższe informacje przechowuje się przez okres **trzech lat** od dnia dokonania w nich ostatniego wpisu.

Kartę ewidencyjną odpadów promieniotwórczych przekazanych do składowania przechowuje się przez okres składowania.

Kontrola odpadów promieniotwórczych polega na sprawdzeniu zgodności stanu odpadów promieniotwórczych z kartą ewidencyjną i obejmuje następujące rodzaje czynności kontrolnych:

- 1) oględziny;
- 2) pomiary emitowanego promieniowania jonizującego;
- 3) pomiary masy lub objętości odpadów promieniotwórczych.

Przeprowadzenie kontroli odnotowuje się w karcie ewidencyjnej odpadu promieniotwórczego **nie rzadziej niż raz w roku**, z podaniem daty i danych osoby, która przeprowadziła kontrolę.

11.3. Warunki przechowywania odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego i wymogi, jakim muszą odpowiadać obiekty, pomieszczenia i opakowania przeznaczone do przechowywania poszczególnych kategorii odpadów promieniotwórczych

Odpady promieniotwórcze i wypalone paliwa jądrowe przechowuje się w sposób zapewniający ochronę ludzi i środowiska w warunkach normalnych i sytuacjach zdarzeń radiacyjnych, w tym przez zabezpieczenie ich przed rozlaniem, rozproszaniem lub uwolnieniem.

Odpady promieniotwórcze przechowuje się w warunkach umożliwiających ich segregację według kategorii i podkategorii.

Odpady promieniotwórcze przechowuje się w obiekcie lub w pomieszczeniu (magazyn odpadów promieniotwórczych) wyposażonym w urządzenia do wentylacji mechanicznej lub grawitacyjnej oraz do oczyszczania usuwanego z tego pomieszczenia powietrza, zaliczonym zgodnie z przepisami budowlanymi co najmniej do klasy B odporności pożarowej i zabezpieczonym przed zalaniem wodą.

Wzór tablicy informacyjnej do oznaczenia magazynu odpadów promieniotwórczych jest określony w załączniku nr 4 do rozporządzenia.

Ściany zewnętrzne i stropy magazynu odpadów promieniotwórczych lub zastosowane osłony zapobiegają otrzymaniu przez osoby z ogółu ludności rocznej dawki skutecznej (efektywnej) od wszystkich dróg narażenia przekraczającej wartość **0,1mSv**.

Magazyn odpadów promieniotwórczych **wyposaża się** w:

- 1) sprzęt dozymetryczny odpowiedni ze względu na rodzaj emitowanego promieniowania jonizującego;
- 2) stałe lub ruchome osłony przed promieniowaniem;
- 3) środki ochrony indywidualnej przed skażeniami promieniotwórczymi i napromieniowaniem;
- 4) instalację wodną i kanalizacyjną - w zależności od potrzeb.

W magazynie, w którym są przechowywane odpady promieniotwórcze niegenerujące gazów, zapewnia się wentylację zapobiegającą powstawaniu zjawiska rosznienia na powierzchni opakowań oraz na ścianach magazynu.

W magazynie, w którym są przechowywane odpady promieniotwórcze generujące gazy lub mogące spowodować skażenie promieniotwórcze powietrza, zapewnia się

wentylację mechaniczną umożliwiającą zmniejszenie stężenia powstałych gazów lub skażeń do poziomu, który można pominąć z punktu widzenia ochrony radiologicznej.

Obiekty posiadające kanalizację specjalną na ciekłe odpady promieniotwórcze wyposaża się co najmniej w dwa zbiorniki zapewniające ciągłość odbioru odpadów promieniotwórczych.

Opakowania przeznaczone do przechowywania odpadów promieniotwórczych (zbiorniki lub pojemniki stalowe, betonowe lub z tworzyw sztucznych, bębny lub worki foliowe) dostosowuje się do stanu skupienia i właściwości fizykochemicznych odpadów promieniotwórczych.

Materiał opakowań nie może wchodzić w reakcje chemiczne z odpadami promieniotwórczymi.

Stałe odpady promieniotwórcze przechowuje się w pojemnikach stalowych, betonowych, z tworzyw sztucznych, bębnach lub w workach foliowych z tworzyw sztucznych o grubości powyżej **0,5 mm**.

W workach foliowych przechowuje się tylko odpady niskoaktywne.

Nie jest dopuszczalne przechowywanie w tym samym opakowaniu odpadów promieniotwórczych zaliczonych do różnych kategorii i o różnych stanach skupienia.

Ciekłe odpady promieniotwórcze przechowuje się w zbiornikach stalowych pokrytych wewnątrz powłoką chemoodporną, zbiornikach betonowych uszczelnionych od wewnątrz i pokrytych powłoką chemoodporną lub zbiornikach z tworzyw sztucznych laminowanych.

W obiektach nieposiadających kanalizacji specjalnej ciekłe odpady promieniotwórcze można przechowywać w pojemnikach lub zbiornikach ze stali nierdzewnej lub z tworzyw sztucznych, których pojemność nie przekracza 100 dm^3 , oraz w pojemnikach szklanych lub ceramicznych zabezpieczonych przed uszkodzeniami mechanicznymi, których pojemność nie przekracza 25 dm^3 .

Zbiornik lub pojemnik do przechowywania ciekłych odpadów promieniotwórczych umieszcza się w wannie stalowej lub wannie betonowej pokrytej od wewnątrz powłoką chemoodporną, której pojemność jest nie mniejsza od objętości umieszczonego w niej zbiornika lub pojemnika.

Na opakowaniu do przechowywania średnioaktywnych i wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych umieszcza się informacje o temperaturze, której nie mogą przekroczyć przechowywane odpady, oraz o temperaturze, której nie może przekroczyć opakowanie z tym odpadem.

ROZDZIAŁ 12

ZDARZENIA RADIACYJNE

Zdarzenie radiacyjne to według ustawy Prawo atomowe sytuacja związana z zagrożeniem, wymagająca podjęcia pilnych działań w celu ochrony pracowników lub ludności. Jest to definicja bardzo ogólna. Możemy również powiedzieć, że jest to każde nieprzewidziane wydarzenie, mogące doprowadzić do przekroczenia dawek granicznych promieniowania jonizującego. Do takich zdarzeń możemy zaliczyć np. wystąpienie niekontrolowanych skażeń powierzchni roboczych w pracowni źródeł otwartych; w pracach prowadzonych w terenie może dojść do utraty źródła lub wypadnięcia źródła z pojemnika ochronnego; przy pracach z użyciem źródeł promieniotwórczych w radioterapii lub w defektoskopii izotopowej może wystąpić zacięcie mechanizmu powrotu źródła do pozycji ochronnej; w energetyce jądrowej może dojść do niekontrolowanego uwolnienia do atmosfery dużej ilości substancji promieniotwórczych, które mogą spowodować skażenia środowiska na dużych obszarach obejmujących wiele krajów a nawet kontynentów, jak miało to miejsce po awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu.

Według ustawy Prawo atomowe, ze względu na zasięg skutków wyróżnia się następujące rodzaje zdarzeń radiacyjnych:

- 1) zdarzenie powodujące **zagrożenie jednostki organizacyjnej** - zdarzenie radiacyjne, które powstało na terenie tej jednostki, a zasięg jego skutków nie przekracza granic jej terenu;
- 2) zdarzenie powodujące zagrożenie publiczne o **zasięgu wojewódzkim** – zdarzenie radiacyjne, które powstało na terenie jednostki organizacyjnej albo poza nią w czasie prowadzenia prac w terenie lub w czasie transportu materiałów jądrowych, źródeł

promieniowania jonizującego, odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego, a zasięg jego skutków nie przekracza obszaru jednego województwa;

- 3) zdarzenie powodujące zagrożenie publiczne o **zasięgu krajowym** – zdarzenie radiacyjne określone jak wyżej, jeżeli zasięg jego skutków przekracza lub może przekroczyć obszar jednego województwa.

Każde zdarzenie radiacyjne zaistniałe na terenie kraju lub poza jego granicami, którego zasięg skutków przekracza granice Rzeczypospolitej Polskiej, traktowane jest jako zdarzenie powodujące zagrożenie publiczne o zasięgu krajowym.

W przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej obowiązany jest zabezpieczyć miejsce zdarzenia i niezwłocznie zgłosić to zdarzenie Prezesowi Agencji, a w uzasadnionych przypadkach również innym organom i służbom, zgodnie z zakładowym planem postępowania awaryjnego. Zabezpieczeniem miejsca zdarzenia będzie np. ograniczenie dostępu do terenu, na którym to zdarzenie nastąpiło, udzielenie pomocy osobom poszkodowanym itp.

Przy niektórych zdarzeniach radiacyjnych powodujących zagrożenie jednostki organizacyjnej, województwa albo kraju może zaistnieć konieczność podjęcia stosownych **działań interwencyjnych** określonych odpowiednio w zakładowym, wojewódzkim albo krajowym planie postępowania awaryjnego.

Podczas zdarzenia radiacyjnego powodującego zagrożenie jednostki organizacyjnej akcją likwidacji zagrożenia i usuwania skutków zdarzenia kieruje kierownik jednostki, na terenie której nastąpiło zdarzenie.

Podczas zdarzenia radiacyjnego powodującego zagrożenie o zasięgu wojewódzkim akcją likwidacji zagrożenia i usuwania skutków zdarzenia kieruje wojewoda we współpracy z państwowym wojewódzkim inspektorem sanitarnym natomiast podczas zdarzenia radiacyjnego powodującego zagrożenie o zasięgu krajowym – minister właściwy do spraw wewnętrznych przy pomocy Prezesa Agencji.

Jeżeli zdarzenie radiacyjne miało miejsce podczas transportu, akcją likwidacji zagrożenia i usuwania skutków zdarzenia kieruje osoba odpowiedzialna za bezpieczeństwo przesyłki w czasie transportu w porozumieniu z wojewodą właściwym dla miejsca zdarzenia działającym we współpracy z państwowym wojewódzkim inspektorem sanitarnym.

W razie zdarzenia radiacyjnego spowodowanego przez nieznanego sprawcę służba, która pierwsza uzyskała informację o zdarzeniu, zabezpiecza miejsce zdarzenia i powiadamia o zdarzeniu Prezesa Agencji oraz wojewodę właściwego dla miejsca zdarzenia. W takim przypadku akcją likwidacji zagrożenia i usuwania skutków zdarzenia kieruje wojewoda właściwy dla miejsca zdarzenia, podejmując stosowne działania interwencyjne określone w wojewódzkim planie postępowania awaryjnego ewentualnie minister spraw wewnętrznych przy pomocy Prezesa Agencji jeśli zdarzenie ze względu na zasięg skutków będzie powodować zagrożenie o zasięgu krajowym.

W przypadku stwierdzenia podwyższonego poziomu mocy dawki promieniowania jonizującego lub wystąpienia skażeń promieniotwórczych, w tym spowodowanych aktem terroru oraz w przypadku znalezienia porzuconej substancji promieniotwórczej, w tym źródła niekontrolowanego, akcją likwidacji zagrożenia i usuwania skutków zdarzenia kieruje wojewoda właściwy dla województwa, na którego obszarze stwierdzono podwyższony poziom mocy dawki promieniowania jonizującego, wystąpienie skażeń promieniotwórczych lub znaleziono porzuconą substancję promieniotwórczą, we współpracy z państwowym wojewódzkim inspektorem sanitarnym, podejmując stosowne działania interwencyjne określone w wojewódzkim planie postępowania awaryjnego.

W przypadku wykrycia przez Straż Graniczną lub Służbę Celną próby nielegalnego przywozu na terytorium kraju lub wywozu z terytorium Polski substancji promieniotwórczej wymienione służby podejmują działania określone w odpowiednich procedurach postępowania opracowanych odpowiednio przez Komendanta Głównego Straży Granicznej lub Szefa Służby Celnej.

Decyzja o wprowadzeniu działań interwencyjnych może być podjęta po:

- 1) przekazaniu przez Prezesa Agencji informacji, że w wyniku zdarzenia radiacyjnego – powodującego zagrożenie o zasięgu wojewódzkim bądź krajowym – może nastąpić przekroczenie poziomów interwencyjnych;
- 2) stwierdzeniu w wyniku analizy celowości prowadzenia działań interwencyjnych, że zmniejszenie szkody związanej z promieniowaniem uzasadnia spowodowane przez te działania szkody i koszty, w tym koszty społeczne.

Przy dokonywaniu analizy celowości prowadzenia działań interwencyjnych należy uwzględnić:

- 1) dotychczasowy oraz przewidywany przebieg i zasięg zdarzenia;
- 2) występujące lub mogące wystąpić wartości dawek promieniowania jonizującego;
- 3) liczebność grup osób zagrożonych;
- 4) skutki zdrowotne tych działań;
- 5) przewidywaną wysokość kosztów oraz skalę skutków ekonomicznych i społecznych tych działań.

Rodzaj, skala i czas trwania działań interwencyjnych są tak dobrane, żeby korzyści związane ze zmniejszeniem szkód dla zdrowia, pomniejszone o szkody związane z interwencją, były jak największe.

Wprowadzenie działań interwencyjnych w związku ze zdarzeniem radiacyjnym, którego zasięg skutków nie przekracza obszaru jednego województwa, następuje w drodze aktu prawa miejscowego wydanego przez wojewodę właściwego dla miejsca zdarzenia natomiast dla zdarzenia o zasięgu krajowym w drodze rozporządzenia Rady Ministrów. Rozporządzenie Rady Ministrów, oprócz ogłoszenia go w Dzienniku Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, podaje się do publicznej wiadomości przez rozplakatowanie w miejscach publicznych na obszarze objętym działaniami interwencyjnymi, oraz przez ogłoszenie w środkach masowego przekazu na tym obszarze.

W ww. aktach prawnych określa się przyczyny, datę wprowadzenia oraz obszar i przewidywany czas obowiązywania działań interwencyjnych, a także rodzaj niezbędnych działań interwencyjnych.

Odwołanie działań interwencyjnych na całym obszarze ich obowiązywania lub na części tego obszaru następuje w trybie przewidzianym dla ich ogłoszenia.

Działaniami interwencyjnymi wprowadzanymi w razie możliwości przekroczenia poziomów interwencyjnych są:

- 1) ewakuacja;
- 2) nakaz pozostania w pomieszczeniach zamkniętych;
- 3) podanie preparatów ze stabilnym jodem;
- 4) zakaz lub ograniczenie: spożywania skażonej żywności i skażonej wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, żywienia zwierząt skażonymi środkami żywienia zwierząt i pojenia skażoną wodą oraz wypasu zwierząt na skażonym terenie;
- 5) czasowe przesiedlenie ludności;

- 6) stałe przesiedlenie ludności.

Działaniami interwencyjnymi kieruje:

- 1) wojewoda właściwy dla miejsca zdarzenia radiacyjnego – w przypadku zdarzenia radiacyjnego powodującego zagrożenie publiczne o zasięgu wojewódzkim;
- 2) minister właściwy do spraw wewnętrznych – w przypadku zdarzenia radiacyjnego powodującego:
 - a) zagrożenie publiczne o zasięgu krajowym,
 - b) zagrożenie publiczne o zasięgu wojewódzkim, gdy podjęcie i prowadzenie działań interwencyjnych przekracza możliwości służb podległych wojewodzie.

Ludność, która w przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego mogłaby otrzymać dawkę promieniowania jonizującego przekraczającą dawkę graniczną dla ogółu ludności, jest okresowo informowana o możliwych do zastosowania środkach ochrony zdrowia oraz o działaniach jakie powinna podjąć w razie wystąpienia zdarzenia radiacyjnego (informacja wyprzedzająca).

Po wystąpieniu zdarzenia radiacyjnego, ludność, która może otrzymać dawkę promieniowania jonizującego przekraczającą dawkę graniczną dla osób z ogółu ludności, jest niezwłocznie informowana o tym zdarzeniu, podejmowanych działaniach, a w razie potrzeby o stosownych środkach ochrony zdrowia

Koszty działań interwencyjnych i usuwania skutków zdarzenia radiacyjnego są pokrywane przez jednostkę organizacyjną, z której przyczyny powstało zdarzenie radiacyjne. W razie zdarzenia radiacyjnego niepowstałego z przyczyny jednostki organizacyjnej koszty są pokrywane przez sprawcę tego zdarzenia, a w razie zdarzenia, którego sprawca nie jest znany lub nie można od sprawcy uzyskać pokrycia kosztów oraz w razie zdarzenia powstałego poza granicami Rzeczypospolitej Polskiej - z budżetu państwa.

Kierownik jednostki organizacyjnej i wojewoda, każdy w swoim zakresie, przeprowadzają okresowe ćwiczenia w celu przeglądu i aktualizacji planów postępowania awaryjnego. Koszty ćwiczeń ponoszą odpowiednio jednostka organizacyjna lub wojewoda. Minister właściwy do spraw wewnętrznych przeprowadza okresowo, nie rzadziej niż raz na trzy lata, ćwiczenia w celu sprawdzenia krajowego planu postępowania awaryjnego. Koszty związane z przygotowaniem i przeprowadzeniem ćwiczeń pokrywane są z budżetu ministra właściwego do spraw wewnętrznych.

Po zdarzeniu radiacyjnym żywność i środki żywienia zwierząt podlegają kontroli na zgodność z maksymalnymi dozwolonymi poziomami skażeń promieniotwórczych, zgodnie z przepisami obowiązującymi w Unii Europejskiej.

Żywność i środki żywienia zwierząt, w których zawartość skażeń promieniotwórczych przekracza ww. poziomy, nie są wprowadzane do obrotu, a także nie mogą być wywożone do państw nie będących członkami Unii Europejskiej.

O każdym przypadku przekroczenia ww. poziomów skażeń promieniotwórczych jest informowana Komisja Europejska.

Rada Ministrów może określić, w drodze rozporządzenia, poziom zawartości substancji promieniotwórczych w surowcach i wyrobach przemysłowych przywożonych na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej po zdarzeniach radiacyjnych, uwzględniając dawki graniczne promieniowania jonizującego i sposób postępowania z tymi wyrobami.

Prezes Agencji, wykonując zadania wynikające z międzynarodowego systemu powiadamiania o zdarzeniach radiacyjnych w zakresie wczesnego powiadamiania o awarii jądrowej, pomocy w przypadku awarii jądrowej lub zagrożenia radiacyjnego, ochrony fizycznej materiałów jądrowych i o nielegalnym obrocie tymi materiałami, jak również realizując zobowiązania Rzeczypospolitej Polskiej wynikające z dwustronnych umów międzynarodowych, powołuje **krajowe punkty kontaktowe**.

Do zadań krajowych punktów kontaktowych należy w szczególności:

- a) przyjmowanie z MAEA, Komisji Europejskiej oraz punktów kontaktowych innych państw i organizacji międzynarodowych powiadomień o awariach jądrowych, o bezprawnym użyciu, przemieszczeniu, przetworzeniu materiałów jądrowych lub zawładnięciu nimi albo o realnej groźbie popełnienia któregoś z tych czynów, o

kradzieży lub utracie źródła wysokoaktywnego oraz o odnalezieniu źródła niekontrolowanego, a także przyjmowanie próśb tych państw o udzielenie pomocy w przypadku takich zdarzeń i informowanie ich o tym, czy pomoc może być udzielona, oraz o warunkach udzielenia i zakresie tej pomocy;

- b) przekazywanie do MAEA, Komisji Europejskiej oraz ww. punktów kontaktowych, powiadomień o powstałych na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej zdarzeniach radiacyjnych oraz przypadkach bezprawnego użycia, przemieszczenia, przetworzenia materiałów jądrowych lub zawładnięcia nimi albo o realnej groźbie popełnienia któregoś z tych czynów na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej albo innego państwa, o kradzieży lub utracie źródła wysokoaktywnego oraz o odnalezieniu źródła niekontrolowanego, a także przekazywanie próśb Rzeczypospolitej Polskiej o udzielenie pomocy w przypadku takich zdarzeń;
- c) przekazywanie do punktów kontaktowych innych informacji, do których udzielania Rzeczpospolita Polska jest obowiązana zgodnie z zawartymi umowami międzynarodowymi.

Prezes Agencji może powierzyć wykonywanie zadań krajowego punktu kontaktowego instytucji wyspecjalizowanej w dziedzinie ochrony radiologicznej.

Na żądanie Prezesa Agencji instytucje, organizacje i osoby posiadające dane i informacje niezbędne dla analizy i oceny sytuacji radiacyjnej kraju obowiązane są do ich nieodpłatnego udostępnienia.

Na podstawie oceny sytuacji radiacyjnej kraju Prezes Agencji:

- 1) ogłasza komunikaty dla ludności o sytuacji radiacyjnej, w tym o poziomie skażeń promieniotwórczych w warunkach normalnych i w sytuacji zdarzeń radiacyjnych;
- 2) informuje o powstaniu zagrożenia publicznego o zasięgu wojewódzkim lub krajowym odpowiednio właściwego wojewodę lub Radę Ministrów;
- 3) przekazuje przewodniczącemu odpowiedniego rządowego zespołu do spraw kryzysowych informacje o zdarzeniu radiacyjnym oraz prognozy rozwoju sytuacji radiacyjnej kraju.

Kwartalne komunikaty dla ludności o sytuacji radiacyjnej kraju Prezes Agencji ogłasza w Dzienniku Urzędowym Rzeczypospolitej Polskiej „Monitor Polski”. W przypadku zdarzenia radiacyjnego informowanie ludności następuje w sposób określony w wojewódzkim lub krajowym planie postępowania awaryjnego oraz w trybie określonym w rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie informacji wyprzedzającej dla ludności na wypadek zdarzenia radiacyjnego.

WYKAZ LITERATURY

5. Bem, H., (2005), Radioaktywność w środowisku naturalnym, Polska Akademia Nauk, Łódź, 2005.
6. Hryniewicz, A., (1993), Postępy Fizyki, 44 (1993) 439-461.
7. IAEA (2004), The long term stabilization of uranium mill tailings, Final Report of a Co-ordinated IAEA, Vienna, 2005, 13-17.
8. Wójcik, A., Szumiel, I., Liniecki, J. (2006), Postępy Techniki Jądrowej, 43, Nr 2 (2006) 34-39.
9. Wysocka, M., Molenda, M., Chałupnik, E. S. (2004) in: Proc. of an International Conference on Naturally
10. Occurring Radioactive Materials (NORM IV), Szczyrk, Poland, 17–21 May 2004, IAEA-TECDOC-1472, IAEA, Vienna, 2005, 29-38.
11. IAEA (1996), International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, SAFETY SERIES No. 115, IAEA, VIENNA, 1996
12. IAEA (2007). (a) Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry, Safety Reports Series No. 34, IAEA, Vienna, 2003; (b) Assessing the need for Radiation Protection Research Project 2000–2004, IAEA-TECDOC-1403, IAEA, Vienna, 2004.
13. Jaworowski, Z (1999), Wiadomości Chem., 53 (1999) 701-723.
14. Jaworowski, Z., (1997) „Dobroczynne promieniowanie”, "Wiedza i Życie" nr 3/1997
15. Myasoedov, B. F., Drozhko, E. G. Alloys Comp., 271-273 (1998) 216-220, (b) Romanov, G. M. Drozhko, G., Postępy Techniki Jądrowej, 39 (1996) 30-40.

16. Narbutt, J., (2007), Długoletni Program Szkoleniowy w Zakresie Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej, Rozdział 4: Radionuklidy w przyrodzie część, Pierwiastki i izotopy promieniotwórcze
17. Pietrzak-Flis, Z., (1999), Postępy Techniki Jądrowej, 42, Nr 2 (1999) 18-26.
18. Skowronek, B., Michalik, J., Dulewski, (2005) in: Proc. of an International Conference on Naturally
19. Occurring Radioactive Materials (NORM IV), Szczyrk, Poland, 17–21 May 2004, IAEA-TECDOC-1472,
20. Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials, Safety Reports Series No. 49, IAEA, Vienna,
21. 2005; (c) Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries,
22. Safety Reports Series No. 51, IAEA, Vienna, 2007.
23. IAEA (2006), Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience, Report of the Chernobyl Forum Expert Group “Environment”, IAEA, Vienna, 2006.
20. Akonom M.: „Komentarz do ustawy – Prawo atomowe”, Bezpieczeństwo jądrowe i Ochrona Radiologiczna 4/44 (2000), 38
21. Ablewicz Z., Dubrowski W. B.: „Osłony przed promieniowaniem jonizującym. Materiały, konstrukcja, wykonywanie”, Arkady, Warszawa, 1986
22. Chomicki O. A., Scharf W. H.: „Akceleratory medyczne w radioterapii: historia, stan obecny i perspektywy”, Postępy Fizyki t. 45 z. 5, 433 (1994)
23. Encyklopedia Fizyki Współczesnej, PWN, Warszawa, 1983
24. Establishment for Nuclear Equipment, The Andrzej Sołtan Institute for Nuclear Studies, IPJ – ZDAJ
25. „Fizyczne podstawy diagnostyki medycznej i terapii” , praca zbiorowa pod red. Hryniewicz Z. .A. i Rokity E., PWN, Warszawa, 2000
26. „Fizyka jądrowa w służbie medycyny”, Materiały z sympozjum w IPJ w Świerku, czerwiec 1999
27. Gostkowska B.: „Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej”, CLOR, Warszawa, 1992
28. Hryniewicz A.: „Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego”, PAA-IFJ, Warszawa - Kraków, 1993
29. „Informacja Obrazowa”, Praca zbiorowa, WNT, Warszawa, 1992

30. „Informacja PAA o stanie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 1999 roku”, Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, 2(42)/2000, 3
31. Jaworowski Z.: „Dobroczynne skutki promieniowania jonizującego”, Postępy Techniki Jądrowej vol. 38 z. 4, 14 (1995)
32. Jaworowski Z.: „Dobroczynne promieniowanie”, Wiedza i Życie, 20, 3 (1997)
33. Jezierski G.: „Radiografia przemysłowa”, WNT, Warszawa, 1993
34. Multimedialna Encyklopedia Powszechna, Fogra, Kraków, 1998
35. „Radiologiczny Atlas Polski 2005”, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 2006
36. Scharf W.: „Akceleratory biomedyczne”, PWN, Warszawa, 1994
37. Siwicki R.: „Zagrożenia ze strony medycyny”, Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna 10/91, 37
38. Wahlström B.: „Promieniowanie, zdrowie i społeczeństwo”, PAA, Warszawa, 1999
39. Zimek Z., Dźwigalski Z.: „Liniowy akcelerator elektronów LAE 10. Budowa i przeznaczenie”, PTJ vol. 42 z. 2,
40. Gostkowska B., Rosiński S.: „Ochrona radiologiczna – Materiały szkoleniowe dla operatorów akceleratorów i/lub urządzeń do teleterapii”, CLOR, Warszawa, 2010,
41. Obowiązujące w Polsce akty prawne

ZAŁĄCZNIK 1

SŁOWNICZEK PODSTAWOWYCH POJĘĆ

(Pozycje oznaczone gwiazdką według ustawy „Prawo atomowe” z dn. 29 listopada 2000r.)

AKCELERATOR (PRZYŚPIESZACZ) - urządzenie do przyśpieszania cząstek naładowanych. W przemyśle i medycynie wykorzystuje się akceleratory jako źródła promieniowania jonizującego.

AKTYWNOŚĆ - liczba rozpadów w jednostce czasu.

Jednostka: bekerel (Bq) - 1 rozpad na sekundę

$$1 \text{ Bq} = \text{s}^{-1}$$

dawna jednostka: kiur (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$$

AKTYWNOŚĆ WŁAŚCIWA - aktywność przypadająca na jednostkę masy

ALARA („As Low As Reasonably Achievable”) - podstawowa zasada ochrony radiologicznej, która mówi, że należy tak planować i organizować pracę z promieniowaniem jonizującym, aby otrzymane dawki były możliwie jak najmniejsze z racjonalnym uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych (zysk musi być zawsze większy od strat).

APARAT KOBALTOWY (BOMBA KOBALTOWA) - urządzenie do radioterapii nowotworowej za pomocą naświetlań chorej tkanki dużymi dawkami promieniowania gamma, o aktywnościach rzędu 10^{14} Bq izotopu ^{60}Co .

ATESTACJA - patrz wzorcowanie.

ATOM - najmniejsza część pierwiastka chemicznego zachowująca jego własności. Składa się z jądra (zbudowanego z protonów i neutronów) oraz krążących wokół niego elektronów.

BEKEREL (Bq) - jednostka aktywności źródła promieniotwórczego. Jest to 1 rozpad na sekundę

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

BŁĄD LOSOWY (statystyczny) - oznaczenie różnicy między wartością występującą w wyniku przeprowadzonych pomiarów, a wartością „prawdziwą”. Odchylenie od wartości „prawdziwej” jest efektem zdarzeń losowych, błąd zmienia się w sposób nieprzewidywany, zarówno co do wartości bezwzględnej, jak i co do znaku (zmiana temperatury otoczenia, wilgotności, chwilowa zmiana napięć zasilania).

BŁĄD SYSTEMATYCZNY - błąd który przy wielokrotnym pomiarze tej samej wielkości w tych samych warunkach nie zmienia się, lub zmienia według znanej zależności, znanego nam prawa (błąd wzorca, błąd kalibracji, właściwości przetwornika – detektora).

BRACHYTERAPIA - napromienianie ciała pacjenta za pomocą źródła (źródeł) umieszczanych w jamach ciała lub wkłuwanych do tkanek pacjenta na określony czas.

CZĄSTKA α - cząstka zbudowana z 2 protonów i 2 neutronów (jak jądro atomu helu-4).

CZĄSTKA β - elektron (cząstka β^-) lub pozyton (cząstka β^+).

DAWKA EKSPOZYCYJNA (X) - miara jonizacji powietrza pod wpływem promieniowania X lub γ . Służy wyłącznie do oceny narażenia na promieniowanie X i γ .

Jednostka: kulomb na kilogram (C/kg)

dawna jednostka: rentgen (R)

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

DAWKA GRANICZNA* – wartość dawki promieniowania jonizującego, wyrażona jako dawka skuteczna lub równoważna, dla określonych grup osób, pochodząca od kontrolowanej działalności zawodowej, której - poza przypadkami przewidzianymi w ustawie – nie wolno przekroczyć.

DAWKA PROMIENIOWANIA - szereg pojęć służących do oceny narażenia na promieniowanie jonizującego (patrz np.: DAWKA POCHŁONIĘTA, DAWKA RÓWNOWAŻNA, DAWKA SKUTECZNA).

DAWKA POCHŁONIĘTA (D) - średnia energia promieniowania jonizującego pochłonięta przez jednostkę masy materiału, w którym rozchodzi się promieniowanie.

Jednostka: grej (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \quad (\text{dżul na kilogram})$$

dawna jednostka: rad (rd)

$$1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ cGy}$$

DAWKA RÓWNOWAŻNA* – dawka pochłonięta w tkance lub narządzie, wyznaczona z uwzględnieniem rodzaju i energii promieniowania jonizującego.

Jednostka: siwert (Sv).

DAWKA SKUTEKZNA (EFEKTYWNA)* – suma dawek równoważnych, pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia, wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich współczynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała.

Jednostka: siwert (Sv)

DAWKOMIERZ (DOZYMETR) - przyrząd służący do pomiaru dawki promieniowania jonizującego

- chemiczny, działanie oparte na zmianach własności chemicznych pod wpływem promieniowania jonizującego,
- fotometryczny (fotograficzny), określający dawkę promieniowania jonizującego na podstawie pomiaru zmiany gęstości optycznej błony,
- jonowy, działanie opiera się na zjawisku jonizacji gazu,
- luminescencyjny, wykorzystujący zjawisko luminescencji niektórych związków chemicznych pod wpływem promieniowania jonizującego.

DETEKCJA - wykrywanie poszczególnych rodzajów promieniowania jonizującego o różnych właściwościach stwarza konieczność stosowania różnorodnych metod pomiaru, detektorów pomiarowych, a także przyrządów pomiarowych o standardach odpowiadających mierzonym wielkościom i wymaganym dokładnościom.

DETEKTOR PÓŁPRZEWODNIKOWY - charakteryzuje się tym, że sygnał wyjściowy z detektora jest proporcjonalny do energii padającej cząstki; pozwala to na zastosowanie detektora w układach spektrometrycznych do pomiaru promieniowania alfa, gamma i rentgenowskiego – pomiar jakościowy, identyfikacja.

DETEKTOR ŚLADOWY - np. detektor w postaci folii plastikowej, cząstka α padając na powierzchnię pozostawia ślad, ilość śladów na jednostkę powierzchni jest funkcją stężenia radonu.

DOZYMETRIA, dział fizyki technicznej zajmujący się oddziaływaniem promieniowania jonizującego z materią, szczególnie materią ożywioną. Główne zadania to: metody określenia dawki, ochrona radiologiczna, pomiary skażeń.

EFEKTYWNY RÓWNOWAŻNIK DAWKI H_E – suma iloczynów równoważników dawek (H) w napromienionych narządach i współczynników wagowych narządów lub tkanek (w_T)

$$H_E = w_1 H_1 + w_2 H_2 + \dots$$

Jednostka: siwert (Sv)

ELEKTRON (e, β^-) - cząstka lekka o (masie rzędu 10^{-27} g) mająca tzw. ładunek elementarny ujemny. Elektrony (e) krążą w atomach wokół jądra.

Mogą również powstawać w jądrach atomów niektórych izotopów promieniotwórczych podczas rozpadu β i wtedy są wysyłane na zewnątrz jako promieniowanie β .

ELEKTRONOWOLT (eV) - jednostka energii promieniowania. Jest to energia, jaką uzyska elektron w polu elektrycznym o różnicy potencjałów 1 wolta (1V)

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

HORMEZA RADIACYJNA - dobroczynne skutki małych dawek promieniowania.

FOTON – kwant promieniowania elektromagnetycznego.

GREJ (Gy) - jednostka dawki pochłoniętej.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements (Międzynarodowa Komisja ds. Jednostek Promieniowania i Pomiarów), powołana w Londynie w 1925 roku.

INDYWIDUALNY RÓWNOWAŻNIK DAWKI $H_p(d)$ - równoważnik dawki w tkance miękkiej na odpowiedniej głębokości d, jednostką indywidualnego równoważnika dawki jest sievert [Sv]. W zależności od przenikliwości promieniowania zalecana jest różna głębokość referencyjna (d):

- dla silnie przenikliwego promieniowania: $d = 10 \text{ mm}$,
- dla słabo przenikliwego promieniowania: $d = 0,07 \text{ mm}$ (narażenie skóry),

$$d = 3 \text{ mm} \text{ (narażenie oczu).}$$

INSPEKTOR OCHRONY RADIOLOGICZNEJ - osoba sprawująca wewnętrzny nadzór nad przestrzeganiem wymagań ochrony radiologicznej.

IZOTOPY - jądra atomów tego samego pierwiastka różniące się liczbą neutronów w jądrze, a więc liczbą masową (przy tej samej liczbie atomowej) np. uran-235 (^{235}U) i uran-238 (^{238}U).

JONIZACJA - zjawisko fizyczne polegające na wyrywaniu elektronów z atomów.

KALIBRACJA - patrz atestacja, wzorcowanie, to korekta wskazań przyrządu badanego w użytkowych zakresach pomiarowych w odniesieniu (porównaniu) jego wskazań do wskazań przyrządu wzorcowego.

KATEGORIA A - pracownicy, którzy mogą być narażeni na dawkę skuteczną przekraczającą 6 mSv/rok lub na dawkę równoważną przekraczającą 1/3 wartości dawek granicznych dla soczewek oczu, skóry i kończyn określonych w rozporządzeniu Rady Ministrów z dn. 28 maja 2002 r. w sprawie dawek granicznych.

KATEGORIA B - pracownicy, którzy mogą być narażeni na dawkę skuteczną przekraczającą 1 mSv/rok lub na dawkę równoważną przekraczającą 1/20 wartości dawek granicznych dla soczewek oczu, skóry i kończyn określonych w rozporządzeniu Rady Ministrów z dn. 28 maja 2002 r. w sprawie dawek granicznych i którzy nie zostali zaliczeni do kategorii A.

KWANT - porcja energii. Wyrażamy ją w elektronowoltach (eV) lub jednostkach pochodnych: kiloelektronowoltach (keV), megaelektronowoltach (MeV) itd.

KOMORA JONIZACYJNA - gazowy detektor promieniowania jonizującego do którego elektrod przyłożone jest napięcie (niezbyt duże by nie wywołać wzmocnienia gazowego), cząstka promieniowania jonizującego (kwant gamma) jonizuje gaz, ładunki dopływające do elektrod powodują przepływ prądu, który jest rejestrowany jako funkcja oddziaływania promieniowania jonizującego. Ze względu na konstrukcje i sposób rejestracji wyróżnia się komory ciśnieniowe, impulsowe, całkujące.

KULA ICRU – kula o średnicy 30 cm wykonana z materiału równoważnego tkance o gęstości 1 g/cm^3 i składzie wagowym: 76,2% tlenu, 11,1% węgla, 10,1% wodoru i 2,8% azotu.

LICZBA ATOMOWA (Z) - liczba protonów w jądrze (równa liczbie elektronów w atomie). Taki kolejny numer ma pierwiastek w układzie okresowym. Zapisujemy ją na dole przed symbolem pierwiastka np. ${}_{27}\text{Co}$.

LICZBA MASOWA (A) - liczba nukleonów (suma protonów i neutronów) w jądrze atomu. Zapisujemy ją na górze przed symbolem pierwiastka np. ${}^{60}\text{Co}$. Można również pisać Co - 60. Wraz z liczbą atomową opisuje budowę atomu i jądra atomowego.

LICZNIK G-M - gazowy detektor promieniowania jonizującego, to szczelne cylindryczne naczynie wypełnione gazem (np. argon z domieszką alkoholu lub parami chloru). Cylindryczna katoda i rozpięta w środku anoda z cienkiego drutu. Elektrody połączone są poprzez rezystor ze źródłem zasilania. Przechodząca przez licznik cząstka jonizuje atomy (cząsteczki) gazu powodując wyładowanie lawinowe. Dopiero po zakończeniu procesu wyładowania może być zarejestrowana następna cząstka (czas martwy licznika). Ze względu na prostotę i taniość liczniki G-M stosuje się szeroko w prostych układach detekcyjnych do rejestracji promieniowania alfa i beta (liczniki okienkowe), beta gamma (liczniki cienkościenne), lub tylko gamma (liczniki grubościenne)

LICZNIK PROPORCJONALNY - gazowy detektor promieniowania jonizującego pracujący w zakresie napięć, dla których występuje zjawisko wzmocnienia gazowego, wzrost jonizacji powoduje wzrost ładunku docierającego do elektrody wykonanej z cienkiego drutu, wokół której panuje silne pole elektryczne. Wzmocnienie gazowe jest funkcją wielkości napięcia zasilania licznika.

LIMIT UŻYTKOWY DAWKI* - ograniczenie przewidywanych dawek indywidualnych, które mogą pochodzić od określonego źródła promieniowania jonizującego, uwzględniane podczas planowania ochrony radiologicznej w celach związanych z optymalizacją.

MIONY - nietrwałe cząstki lekkie o masie około 200 razy większej od masy elektronu, mające ładunek dodatni równy ładunkowi elektronu.

MOC DAWKI - dawka w jednostce czasu np. moc dawki pochłoniętej.

NAPROMIENIENIE (NAPROMIENIOWANIE) - poddanie czegoś lub kogoś działaniu promieniowania jonizującego, z czym wiąże się pochłonięcie energii i otrzymanie dawki promieniowania.

NARAŻENIE* - proces, w którym organizm ludzki podlega działaniu promieniowania jonizującego.

NARAŻENIE POTENCJALNE* – patrz ZAGROŻENIE.

NEUTRON (n) - cząstka „ciężka”, o masie zbliżonej do masy protonu (czyli około 2 000 razy większej od masy elektronu), elektrycznie obojętna, wchodzi w skład jądra atomowego.

NUKLEON - proton lub neutron. Z tych cząstek zbudowane są jądra atomowe.

OCHRONA RADIOLOGICZNA* - zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom – ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych społecznych i zdrowotnych.

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE* - przedmioty lub materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, zakwalifikowane do określonych kategorii, nieprzewidziane do dalszego wykorzystania ich właściwości promieniotwórczych.

OKRES POŁOWICZNEGO ROZPADU, OKRES POŁOWICZNEGO ZANIKU (T) - czas, po upływie którego rozpadnie się połowa atomów lub aktywność zmaleje o połowę.

OPAD PROMIENIOTWÓRCZY - substancje promieniotwórcze uwolnione do atmosfery, które wędrują z wiatrem, a następnie opadają na ziemię, powodując skażenie promieniotwórcze środowiska.

POMIAR - czynności służące ustaleniu wielkości fizycznych. Wynik pomiaru uzyskuje się w wyniku bezpośredniego wskazania przyrządu pomiarowego, wzorcowanego w jednostkach miary mierzonej wielkości. Każdy wynik pomiaru obarczony jest błędem pomiaru.

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ (RADIOAKTYWNOŚĆ) - zjawisko samorzutnego rozpadu jąder atomów niektórych pierwiastków chemicznych (a dokładniej - izotopów), któremu towarzyszy wysyłanie promieniowania α , β , γ .

PROMIENIOWANIE - wysyłanie i przenoszenie energii.

PROMIENIOWANIE α - strumień cząstek α .

PROMIENIOWANIE β - strumień elektronów lub pozytonów, pochodzących z jąder atomów

PROMIENIOWANIE ELEKTROMAGNETYCZNE (FALOWE) - promieniowanie X i γ .

PROMIENIOWANIE γ - fale elektromagnetyczne o bardzo małej długości fali i dużej energii powstające przy rozpadzie promieniotwórczym.

PROMIENIOWANIE JĄDROWE - często nazywa się tak promieniowanie α , β , γ , gdyż pochodzi ono z jąder atomów.

PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE* - promieniowanie składające się z cząstek bezpośrednio lub pośrednio jonizujących albo z obu rodzajów tych cząstek lub fal elektromagnetycznych o długości mniejszej niż 100 nm.

PROMIENIOWANIE NATURALNE* - promieniowanie jonizujące emitowane ze źródeł pochodzenia naturalnego ziemskiego i kosmicznego.

PROMIENIOWANIE PIERWOTNE - promieniowanie wychodzące ze źródła.

PROMIENIOWANIE ROZPROSZONE - promieniowanie, które w wyniku oddziaływania z materią zmieniło kierunek i energię.

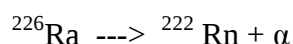
PROMIENIOWANIE X - fale elektromagnetyczne o bardzo małej długości fali i dużej energii wytwarzane w aparatach rentgenowskich i akceleratorach.

PROMIENIOWANIE WTÓRNE - inny rodzaj promieniowania, który powstał w wyniku oddziaływania promieniowania pierwotnego z materią np. w wyniku hamowania elektronów powstaje promieniowanie X

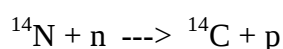
PROTON (p) - cząstka "ciężka", o masie zbliżonej do masy neutronu (czyli około 2 000 razy większej od masy elektronu), mająca ładunek dodatni liczbowo równy ładunkowi elektronu, wchodzi w skład jądra atomowego.

PRZEMIANA JĄDROWA - zmiana struktury jądra i w konsekwencji powstanie innego pierwiastka. Może to nastąpić:

- samorzutnie w wyniku rozpadu promieniotwórczego np. tak z radu powstaje radon



- pod wpływem pocisków bombardujących jądro w reakcji jądrowej np. tak z azotu bombardowanego neutronami powstaje węgiel-14

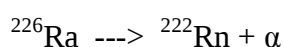


PRZESTRZENNY RÓWNOWAŻNIK DAWKI $H^*(d)$ - jest równoważnikiem dawki jaki byłby wytworzony przez pole promieniowania na głębokości d w kuli ICRU. Jednostką przestrzennego równoważnika dawki jest sievert (Sv). Kula ICRU o średnicy 30 cm wykonana jest z materiału równoważnego tkance i służy do określenia potencjalnego narażenia osób dla potrzeb ochrony radiologicznej wyrażone w wielkości równoważnika dawki (Sv).

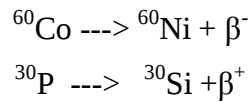
RADIONUKLID - izotop promieniotwórczy

RADIOTERAPIA, (RADIOTERAPIA ONKOLOGICZNA) - dział radiologii zajmujący się leczeniem chorób nowotworowych przez napromieniowanie ciała pacjenta (z zewnątrz lub wewnątrz) przenikliwym promieniowaniem jonizującym: X, gamma, elektronami lub ciężkimi jonami w celu wyleczenia nowotworu złośliwego. Podstawą radioterapii jest zjawisko większej promienioczułości tkanek nowotworowych w porównaniu do promienioczułości zdrowych tkanek. Stosuje się aparaty rentgenowskie (rentgenoterapia), izotopy promieniotwórcze (kobalt - bomba kobaltowa), akceleratory (radioterapia megawoltowa - elektrony są przyspieszane do energii milionów kiloelektronowoltów keV)

ROZPAD α - rozpad promieniotwórczy, w którym powstają cząstki α np.



ROZPAD β - rozpad promieniotwórczy, w którym powstają elektrony rozpad β^- lub pozytony (rozpad β^+) np.



ROZSZCZEPIENIE JĄDRA ATOMOWEGO - reakcja jądrowa zachodząca pod wpływem neutronów, polegająca na rozbiciu bombardowanego jądra na dwa (czasem trzy). Jest źródłem neutronów, co stwarza możliwość reakcji łańcuchowej (powstaje więcej neutronów niż ich użyto do zapoczątkowania reakcji) i źródłem energii (energetyka jądrowa i bomba atomowa).

REAKTOR JĄDROWY - urządzenie, zawierające materiał rozszczepialny, w którym zachodzi łańcuchowa reakcja rozszczepienia w sposób kontrolowany np. w elektrowni jądrowej.

RÓWNOWAŻNIK DAWKI H - iloczyn dawki pochłoniętej w napromienionym narzędzie (D) i współczynnika jakości (Q) zależnego od rodzaju promieniowania

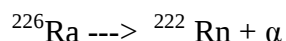
$$H = D \times Q$$

Oprócz pochłaniania energii (dawka pochłonięta D) pojęcie to uwzględnia również skutki biologiczne związane z pochłonięciem różnych rodzajów promieniowania (współczynnik jakości Q).

Jednostka: siwert (Sv),

dawna jednostka: rem.

SCHEMAT ROZPADU – zapis sposobu rozpadu np. z radu (Ra) powstaje radon (Rn), a towarzyszy temu emisja promieniowania



SIWERT (Sv) - jednostka dawki określająca narażenie żywego organizmu

SKAŻENIE PROMIENIOTWÓRCZE - obecność substancji promieniotwórczej poza źródłem.

SPEKTROMETRYCZNY UKŁAD - elektroniki jądrowej zawiera detektor półprzewodnikowy (lub scyntylacyjny) i analizator wielokanałowy do otrzymywania widm rozkładu promieniowania (spektrometr gamma, beta, alfa).

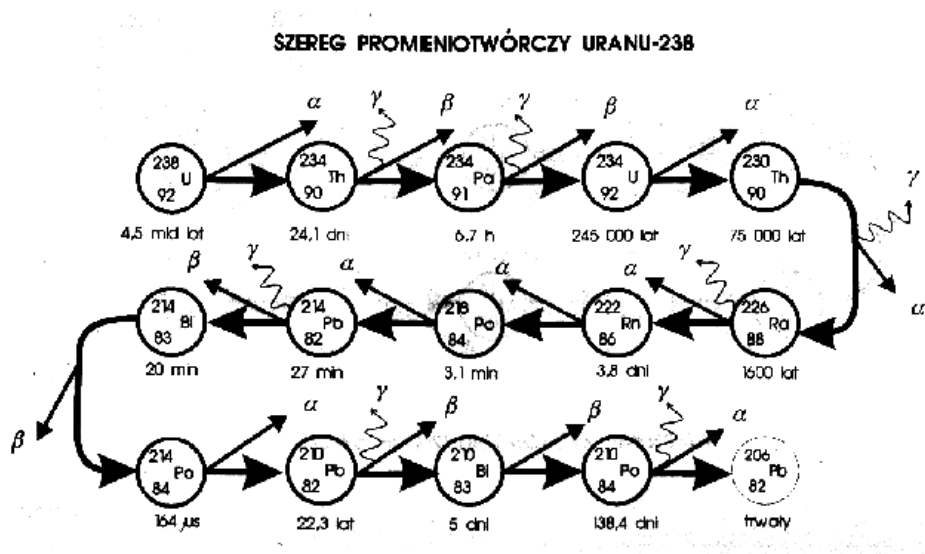
STĘŻENIE PROMIENIOTWÓRCZE – aktywność izotopu lub izotopów promieniotwórczych przypadająca na jednostkę masy lub objętości materiału, w którym substancja promieniotwórcza jest rozłożona.

Jednostki: Bq/kg i Bq/m³.

SUBSTANCJA PROMIENIOTWÓRCZA* – substancja zawierająca jeden lub więcej izotopów promieniotwórczych o takiej aktywności lub stężeniu promieniotwórczym, które nie mogą być pominięte z punktu widzenia ochrony radiologicznej.

SYMBOL PROMIENIOWANIA - trójkątna koniczynka stosowana jako znak ostrzegawczy przed promieniowaniem jonizującym.

SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY (RODZINA PROMIENIOTWÓRCZA) – genetycznie związane ze sobą izotopy promieniotwórcze, z których każdy następny powstaje ze swojego poprzednika przez rozpad α lub β . W przyrodzie występują trzy szeregi: toru-232, uranu-235 i uranu-238 (rys.21).



TELERADIOTERAPIA - napromienianie ciała pacjenta z zewnątrz.

TERAPIA RADIOIZOTOPOWA - podanie (doustnie lub dożylnie) izotopu promieniotwórczego, który odkłada się wybiórczo w określonym narządzie.

TEREN KONTROLOWANY - teren, na którym istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla kategorii A lub możliwość rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych.

TEREN NADZOROWANY - teren, na którym istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla kategorii B i który nie został zaliczony do kategorii A.

TŁO PROMIENIOWANIA - promieniowanie jonizujące pochodzące z naturalnych i sztucznych źródeł znajdujących się w środowisku.

UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW - uszeregowanie pierwiastków chemicznych według wzrastających liczb atomowych (obecnie). W układzie stworzonym w 1869 roku rosyjski chemik, Dymitr Mendelejew uporządkował znane wówczas pierwiastki według wzrastających mas atomowych, zostawiając wolne miejsca dla pierwiastków, które - jego zdaniem - powinny istnieć, a których wtedy jeszcze nie odkryto. W 1998 roku miejsca Nr 84 i 88 zajęły: polon i rad odkryte przez Marię Skłodowską – Curie i Piotra Curie.

WIĄZKA PROMIENIOWANIA - promieniowanie rozchodzące się w przestrzeni w określonym kącie bryłowym. W zależności od udziału w nich promieniowania pierwotnego i rozproszonego rozróżniamy wiązki: wąską (skolimowaną) i szeroką.

WSPÓŁCZYNNIK WAGOWY (WSPÓŁCZYNNIK WAGOWY TKANKI LUB NARZĄDU) w_T - współczynnik liczbowy uwzględniający różną wrażliwość na promieniowanie poszczególnych narządów i tkanek oraz ich znaczenie dla funkcjonowania organizmu. Służy do obliczania efektywnego równoważnika dawki.

WZORCOWANIE – przyrządów; ogół czynności ustalających relację między wartościami wielkości mierzonej wskazanymi przez przyrząd pomiarowy a odpowiednimi wartościami wielkości fizycznych, realizowanymi przez wzorzec jednostki miary wraz z podaniem niepewności tego pomiaru.

ZAGROŻENIE* (NARAŻENIE POTENCJALNE)* - narażenie, które może nastąpić, przy czym prawdopodobieństwo jego wystąpienia i wielkość mogą być zawczasu oszacowane.

ŹRÓDŁO PROMIENIOTWÓRCZE* - substancja promieniotwórcza przygotowana do wykorzystywania jej promieniowania jonizującego.

ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO* - źródło promieniotwórcze, urządzenie zawierające takie źródło, urządzenie wytwarzające promieniowanie jonizujące lub urządzenie emitujące substancje promieniotwórcze.

ŹRÓDŁO ZAMKNIĘTE - substancja promieniotwórcza zamknięta szczelnie w obudowie (kapsułce) trwałej i odpornej na działanie czynników zewnętrznych, która uniemożliwia rozproszenie substancji promieniotwórczej i jej bezpośredni kontakt z otoczeniem w normalnych warunkach użytkowania źródła. Takie źródło znajduje się w bombie kobaltowej.

ŹRÓDŁO OTWARTE - każda inna postać substancji promieniotwórczej. Źródła otwarte stosuje się w medycynie nuklearnej.

ZAŁĄCZNIK 2

TABELE I WYKRESY

Tablice 11 - 16 oraz wykresy 17 - 28 pochodzą z normy PN - 86/ J - 80001 „Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i γ . Obliczanie osłon stałych”.*)

Tablica 9 pochodzi z Rozporządzenia Rady Ministrów z dn. 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 (Dz. U. Nr 137 poz.1153) oraz Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. U. Nr 230 poz. 1925).

Tablicę 10 opracowano na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. U. Nr 230 poz. 1925).

WIELOKROTNOŚCI I PODWIELOKROTNOŚCI JEDNOSTEK MIAR

Przedrostek	Skrót	Mnożnik
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hekto	h	10^2
deka	da	10
decy	d	10^{-1}
centy	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

Tabl. 1. **DAWKI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO I ICH JEDNOSTKI**

WIELKOŚĆ	OKREŚLENIE	JEDNOSTKI
dawka ekspozycyjna $X = \frac{d\Theta}{dm}$	jonizacja w jednostce masy powietrza pod wpływem promieniowania X lub γ (Θ - ładunek elektryczny jednego znaku powstający w jednostce masy powietrza)	kulomb na kilogram C/kg
dawka pochłonięta $D = \frac{dE}{dm}$	średnia energia dowolnego promieniowania jonizującego pochłonięta przez jednostkę masy dowolnego ośrodka, w którym rozchodzi się promieniowanie	Grej Gy 1 Gy = 1 J/kg
równoważnik dawki $H = QD$	dawka pochłonięta w tkance lub narządzie z uwzględnieniem skutków biologicznych jakie wywołują różne rodzaje promieniowania (Q – czynnik jakości promieniowania)	siwert Sv 1 Sv = 1 J/kg
Efektywny równoważnik dawki $H_E = w_{T1}H_1 + w_{T2}H_2 + \dots$	suma równoważników dawek z uwzględnieniem różnej wrażliwości na promieniowanie poszczególnych narządów lub tkanek (w_T – czynnik wagowy narządu lub tkanki)	siwert Sv 1 Sv = 1 J/kg
dawka równoważna $H_T = w_R D$	dawka pochłonięta uśredniona w tkance lub narządzie, ważona dla rodzaju i energii promieniowania (w_R – czynnik wagowy promieniowania)	siwert Sv 1 Sv = 1 J/kg
Dawka skuteczna (efektywna) $E = w_{T1}H_1 + w_{T2}H_2 + \dots$	suma dawek równoważnych, pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich czynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała (w_T - czynnik wagowy narządu lub tkanki)	siwert Sv 1 Sv = 1 J/kg

Tabl. 2. **IZOTOPY WYSYŁAJĄCE PROMIENIOWANIE γ**

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia kwantów MeV	Liczba kwantów na 100 rozpadów	Energia przyjmowana do obliczeń E_0 (MeV)	Równoważna wartość stałej ekspozycyjnej ($\text{cGyh}^{-1}\text{GBq}^{-1}\text{m}^2$)
Na-22	2,6 lat	1,27	99,9	1,3	$29,6 \times 10^{-3}$
Na-24	14,7 h	2,76 1,37	100,0 100,0	2,8	$44,9 \times 10^{-3}$
K-42	12,4 h	1,52	18,8	1,5	$4,5 \times 10^{-3}$
Sc-46	83,8 dn	1,12 0,89	100,0 99,9	1,1	$26,1 \times 10^{-3}$
Cr-51	27,8 dn	0,32	8,0	0,3	$0,5 \times 10^{-3}$
Mn-56	2,6 h	1,8 2,1	27,0 14,0	2,0	$19,7 \times 10^{-3}$
Fe-59	44,5 dn	1,10 1,29	56,5 43,2	1,3	$16,0 \times 10^{-3}$
Co-60	5,3 lat	1,17 1,33	99,9 100,0	1,3	$30,8 \times 10^{-3}$
Se-75	118,5 dn	0,4 0,27 0,14		0,4	$4,8 \times 10^{-3}$
Sr-85	65 dn	0,51	99,3	0,5	$7,1 \times 10^{-3}$
Rb-86	18,6 dn	1,08	8,8	1,1	$1,2 \times 10^{-3}$
Mo-99	2,8 dn	0,78 0,74 0,14	4,35 12,1 90,7	0,7	$4,2 \times 10^{-3}$
Tc-99m	6 h	0,14	87,2	0,1	$1,4 \times 10^{-3}$
Ag-110	250 dn	0,66 0,94 1,38 1,50	94,6 34,4 24,3 13,0	1,3	$34,1 \times 10^{-3}$
Ag-111	7,6 dn	0,24 0,34	1,24 6,7	0,3	$0,5 \times 10^{-3}$
I-131	8,04 dn	0,72 0,64 0,36	1,8 7,3 81,2	0,4	$5,4 \times 10^{-3}$

Tabl. 2. c.d.

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia kwantów MeV	Liczba kwantów na 100 rozpadów	Energia przyjmowana do obliczeń E_o (MeV)	Równoważna wartość stałej ekspozycyjnej ($\text{cGy h}^{-1} \text{GBq}^{-1} \text{m}^2$)
Cs-134	2,06 lat	0,56 0,57 0,60 0,79	8,4 15,4 97,6 85,4	0,8	$21,0 \times 10^{-3}$
Cs-137	30 lat	0,66	85,2	0,7	$8,0 \times 10^{-3}$
Ba-140	12,7 dn	0,16 0,30 0,54	6,2 4,3 24,4	0,5	$2,6 \times 10^{-3}$
La-140	1,7 dn	0,49 0,82 1,6	45,9 23,6 95,4	1,6	$28,3 \times 10^{-3}$
Ce-141	32,5 dn	0,145	48,4	0,15	$0,9 \times 10^{-3}$
Pr-144	17,5 min	0,7	1,34	0,7	$0,4 \times 10^{-3}$
Eu-152	13,3 lat	0,78 0,96 1,12 1,40	13,0 14,5 13,6 20,8	1,4	$14,9 \times 10^{-3}$
Eu-154	8,8 lat	0,72 0,87 0,99 1,00 1,27	19,7 11,4 10,3 17,9 35,5	1,3	$15,5 \times 10^{-3}$
Yb-169	32 dn	0,13 0,18 0,20 0,31	11,0 21,5 34,9 10,8	0,3	$4,2 \times 10^{-3}$
Tm-170	129 dn	0,084	3,26	0,1	$0,07 \times 10^{-3}$
Ir-192	73,8 dn	0,29 0,31 0,32 0,47 0,60 0,61	28,3 29,3 83,0 47,7 8,3 5,3	0,6	$10,9 \times 10^{-3}$
Au-198	2,7 dn	0,41	95,5	0,4	$5,4 \times 10^{-3}$
Tl-202	12,2 dn	0,44	91,4	0,4	$6,2 \times 10^{-3}$
Hg-203	46,6 dn	0,28	81,5	0,3	$3,1 \times 10^{-3}$

Tabl. 2 c.d.

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia kwantów MeV	Liczba kwantów na 100 rozpadów	Energia przyjmowana do obliczeń E_o (MeV)	Równoważna wartość stałej ekspozycyjnej ($\text{cGyh}^{-1}\text{GBq}^{-1}\text{m}^2$)
Ra-226	1600 lat	0,19 0,29 0,35 0,61 1,12 1,76 2,20	3,3 20,1 39,3 48,4 16,0 16,6 5,3	1,7	$21,4 \times 10^{-3}$

Tabl. 3. **IZOTOPY WYSYŁAJĄCE PROMIENIOWANIE β**

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia maks. (MeV) udział, %	Energia średnia E (MeV)	Zasięg maks. R (mg/cm ²)
H-3	12,3 lat	0,019	0,006	0,62
C-14	5730 lat	0,155	0,053	34
Na-24	14,7 h	1,39/100 4,17	0,55 1,92	6,0 x10 ² 2,1 x10 ³
Mg-28	21,2 h	0,418	0,68	1,3 x10 ²
P-32	14,5 dn	1,708	0,68	8,0 x10 ²
S-35	87,1 dn	0,169	0,056	32
K-40	1,3 x 10 ⁹ lat	1,325	0,51	5,8 x10 ²
K-42	12,4 h	2,07/25 3,58/75	0,89 1,61	1,0 x10 ³ 1,7 x10 ³
Ca-45	163,8 dn	0,254	0,084	57
Sc-46	83,8 dn	0,34/99,5 1,2/0,5	0,11 0,46	96 5,0 x10 ²
V-48	16 dn	0,69/95 0,80/5	0,26 0,30	2,5 x10 ² 3,0 x10 ²
Ti-51	5,82 min	1,9/70 2,2/30	0,80 0,92	9,0 x 10 ² 1,1 x10 ³
Mn-52	5,7 dn	0,58	0,21	2,0 x10 ²
Fe-59	44,5 dn	0,46/50 0,257/50	0,16 0,082	1,4 x10 ² 60
Co-60	5,3 lat	0,306	0,098	80
Cu-64	12,8 h	0,57	0,19	1,9 x10 ²
Zn-65	245 dn	0,325	0,10	90
As-76	26,8 h	1,29/15 2,49/25 3,04/60	0,48 1,04 1,28	70 1,2 x10 ³ 1,5 x10 ³
Br-82	35,9 h	0,465	0,14	1,3 x10 ²
Kr-85	10,6 lat	0,67	-	-

Tab. 3 c.d.

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia maks. (MeV) udział, %	Energia średnia E (MeV)	Zasięg maks. R (mg/cm ²)
Sr-89	51 dn	1,5	0,57	6,9 x10 ²
Sr-90	28,4 lat	0,61	0,20	2,1 x10 ²
Y-90	2,7 dn	2,18	0,89	1,1 x10 ³
Y-91	57,5 dn	1,54	0,60	8,0 x10 ²
Zr-95	65 dn	0,371/99 0,84/1	0,16 0,30	96 3,2 x10 ²
Nb-95	35 dn	0,16	0,046	30
Ru-103	39,8 dn	0,271/99 0,698/1	0,065 0,22	46 2,5 x10 ²
Ru-106	366 dn	0,039	0,011	2,5
Rh-106	30 s	2,0/3 2,44/12 3,1/11 3,53/68	0,80 1,00 1,30 1,55	9,2 x10 ² 1,2 x10 ³ 1,5 x10 ³ 1,8 x10 ³
Ag-110m +Ag-110	270 dn	0,087/58 0,530/35 2,120/3 2,86/3	0,023 0,17 0,85 1,20	11 1,7 x10 ² 1,0 x10 ³ 1,4 x10 ³
Ag-111	7,6 dn	0,700/8 0,800/1 1,040/91	0,23 0,27 0,37	2,6 x10 ² 3,0 x10 ² 4,2 x10 ²
Sn-123m	136 dn	1,42	0,52	6,2 x10 ²
Sb-127	3,95 dn	0,8	0,27	3,0 x10 ²
I-131	8,04 dn	0,250/2,8 0,335/9,3 0,608/87,2 0,812/0,7	0,070 0,097 0,19 0,27	59 90 2,1 x10 ² 3,1 x10 ²
Cs-134	2,06 lat	0,090/25 0,648/75	0,024 0,20	12 2,2 x10 ²
Cs-137	30 lat	0,523/92 1,18/8	0,16 0,40	1,7 x10 ² 4,8 x10 ²

Tabl. 3 c.d.

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia maks. (MeV) udział, %	Energia średnia E (MeV)	Zasięg maks. R (mg/cm ²)
Ba-140	12,7 dn	0,48/40 1,022/60	0,14 0,35	$1,5 \times 10^2$ $4,1 \times 10^2$
La-140	1,7 dn	1,32/70 1,67/20 2,26/10	0,46 0,62 0,88	$5,6 \times 10^2$ $7,2 \times 10^2$ $1,2 \times 10^3$
Ce-141	32,5 dn	0,442/67 0,581/33	0,13 0,18	$1,4 \times 10^3$ $1,9 \times 10^2$
Ce-144	284 dn	0,300/70 0,170/30	0,084 0,046	76 30
Pr-144	17,5 min	2,32/1 2,97/99	0,90 1,22	$1,2 \times 10^3$ $1,9 \times 10^3$
Nd-147	11,3 dn	0,38/25 0,60/15 0,83/60	0,042 0,19 0,27	$1,1 \times 10^2$ $2,0 \times 10^2$ $3,2 \times 10^2$
Eu-156	15,4 dn	0,5/60 2,4/40	0,15 0,96	$1,6 \times 10^2$ $1,2 \times 10^2$
Tm-170	129 dn	0,884/24 0,968/76	0,29 0,32	$3,5 \times 10^2$ $3,8 \times 10^2$
Au-198	2,7 dn	0,290/1,7 0,957/98,3 0,381	0,068 0,32 0,48	74 $3,8 \times 10^2$ $5,6 \times 10^2$
Au-199	3,15 dn	0,242/20 0,293/73 0,450/7	0,068 0,082 0,14	58 70 $1,4 \times 10^2$
Hg-203	46,6 dn	0,208	0,058	42
Tl-204	3,8 lat	0,77/98	0,3	3×10^2

Tabl. 4. IZOTOPY WYSYŁAJĄCE PROMIENIOWANIE α

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia E_{α} (MeV)	Udział %
Pb-210	22,3 lat	3,72	$2,2 \times 10^6$
Po-210	138,4 dn	4,52 5,30	0,001 100
Rn-222	3,8 dn	4,99 5,49	0,08 99,92
Ra-226	1600 lat	4,60 4,78	5,55 94,45
Th-228	1,91 lat	5,34 5,42	26,7 72,7
Np-237	$2,1 \times 10^6$	4,77 4,79	25 77
Pu-238	87,7 lat	5,46 5,50	28,3 71,7
Am-241	432,7 lat	5,44 5,49	12,8 85,2
Cf-244	19,4 min	7,17 7,21	25 75
Cm-244	17,8 lat	5,76 5,81	23,6 76,4

Tabl. 5. **ŹRÓDŁA NEUTRONÓW PRĘDKICH**

Źródło	Reakcja	Wydajność $s^{-1} \text{ GBq}^{-1}$	Współczynnik konwersji $\text{mSv h}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ s}$
$^{210}\text{Po} - \text{Be}$	α, n	$6,8 \times 10^4$	$1,4 \times 10^{-3}$
$^{226}\text{Ra} - \text{Be}$	α, n	$3,5 \times 10^5$	$1,4 \times 10^{-3}$
$^{239}\text{Pu} - \text{Be}$	α, n	$5,9 \times 10^4$	$1,4 \times 10^{-3}$
$^{241}\text{Am} - \text{Be}$	α, n	$5,9 \times 10^4$	$1,4 \times 10^{-3}$
^{252}Cf	rozszczerpie samorzutne	$1,2 \times 10^8$	$1,3 \times 10^{-3}$

Tabl. 6. WARTOŚĆ FUNKCJI e^x i e^{-x}

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
0.00	1.0000	1.0000	0.50	1.6487	0.6065	1.00	2.7183	0.3679
0.01	1.0101	0.9900	0.51	1.6653	0.6005	1.01	2.7456	0.3642
0.02	1.0202	0.9802	0.52	1.6820	0.5945	1.02	2.7732	0.3606
0.03	1.0305	0.9704	0.53	1.6989	0.5886	1.03	2.8011	0.3570
0.04	1.0408	0.9608	0.54	1.7160	0.5827	1.04	2.8292	0.3535
0.05	1.0513	0.9512	0.55	1.7333	0.5769	1.05	2.8577	0.3499
0.06	1.0618	0.9418	0.56	1.7507	0.5712	1.06	2.8864	0.3465
0.07	1.0725	0.9324	0.57	1.7683	0.5655	1.07	2.9154	0.3430
0.08	1.0833	0.9231	0.58	1.7860	0.5599	1.08	2.9447	0.3396
0.09	1.0942	0.9139	0.59	1.8040	0.5543	1.09	2.9743	0.3362
0.10	1.1052	0.9048	0.60	1.8221	0.5488	1.10	3.0042	0.3329
0.11	1.1163	0.8958	0.61	1.8404	0.5434	1.11	3.0344	0.3296
0.12	1.1275	0.8869	0.62	1.8589	0.5379	1.12	3.0649	0.3263
0.13	1.1388	0.8781	0.63	1.8776	0.5326	1.13	3.0957	0.3230
0.14	1.1503	0.8694	0.64	1.8965	0.5273	1.14	3.1268	0.3198
0.15	1.1618	0.8607	0.65	1.9155	0.5220	1.15	3.1582	0.3166
0.16	1.1735	0.8521	0.66	1.9348	0.5169	1.16	3.1899	0.3135
0.17	1.1853	0.8437	0.67	1.9542	0.5117	1.17	3.2220	0.3104
0.18	1.1972	0.8353	0.68	1.9739	0.5066	1.18	3.2544	0.3073
0.19	1.2092	0.8270	0.69	1.9937	0.5016	1.19	3.2871	0.3042
0.20	1.2214	0.8187	0.70	2.0138	0.4966	1.20	3.3201	0.3012
0.21	1.2337	0.8106	0.71	2.0340	0.4916	1.21	3.3535	0.2982
0.22	1.2461	0.8025	0.72	2.0544	0.4868	1.22	3.3872	0.2952
0.23	1.2586	0.7945	0.73	2.0751	0.4819	1.23	3.4212	0.2923
0.24	1.2712	0.7866	0.74	2.0959	0.4771	1.24	3.4556	0.2894
0.25	1.2840	0.7788	0.75	2.1170	0.4724	1.25	3.4903	0.2865
0.26	1.2969	0.7711	0.76	2.1383	0.4677	1.26	3.5254	0.2837
0.27	1.3100	0.7634	0.77	2.1598	0.4630	1.27	3.5609	0.2808
0.28	1.3231	0.7558	0.78	2.1815	0.4584	1.28	3.5966	0.2780
0.29	1.3364	0.7483	0.79	2.2034	0.4538	1.29	3.6328	0.2753
0.30	1.3499	0.7408	0.80	2.2255	0.4493	1.30	3.6693	0.2725
0.31	1.3634	0.7334	0.81	2.2479	0.4449	1.31	3.7062	0.2698
0.32	1.3771	0.7261	0.82	2.2705	0.4404	1.32	3.7434	0.2671
0.33	1.3910	0.7189	0.83	2.2933	0.4360	1.33	3.7810	0.2645
0.34	1.4049	0.7118	0.84	2.3164	0.4317	1.34	3.8190	0.2618
0.35	1.4191	0.7047	0.85	2.3396	0.4274	1.35	3.8574	0.2592
0.36	1.4333	0.6977	0.86	2.3632	0.4232	1.36	3.8962	0.2567
0.37	1.4477	0.6907	0.87	2.3869	0.4190	1.37	3.9354	0.2541
0.38	1.4623	0.6839	0.88	2.4109	0.4148	1.38	3.9749	0.2516
0.39	1.4770	0.6771	0.89	2.4351	0.4107	1.39	4.0149	0.2491
0.40	1.4918	0.6703	0.90	2.4596	0.4066	1.40	4.0552	0.2466
0.41	1.5068	0.6637	0.91	2.4843	0.4025	1.41	4.0960	0.2441
0.42	1.5220	0.6570	0.92	2.5093	0.3985	1.42	4.1371	0.2417
0.43	1.5373	0.6505	0.93	2.5345	0.3946	1.43	4.1787	0.2393
0.44	1.5527	0.6440	0.94	2.5600	0.3906	1.44	4.2207	0.2369
0.45	1.5683	0.6376	0.95	2.5857	0.3867	1.45	4.2631	0.2346
0.46	1.5841	0.6313	0.96	2.6117	0.3829	1.46	4.3060	0.2322
0.47	1.6000	0.6250	0.97	2.6379	0.3791	1.47	4.3492	0.2299
0.48	1.6161	0.6188	0.98	2.6645	0.3753	1.48	4.3929	0.2276
0.49	1.6323	0.6126	0.99	2.6912	0.3716	1.49	4.4371	0.2254

Tabl. 6 c.d.

x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}
1.50	4.4817	0.2231	2.00	7.3891	0.1353	2.50	12.182	0.08208
1.51	4.5267	0.2209	2.01	7.4633	0.1340	2.51	12.305	0.08127
1.52	4.5722	0.2187	2.02	7.5383	0.1327	2.52	12.429	0.08046
1.53	4.6182	0.2165	2.03	7.6141	0.1313	2.53	12.554	0.07966
1.54	4.6646	0.2144	2.04	7.6906	0.1300	2.54	12.680	0.07887
1.55	4.7115	0.2122	2.05	7.7679	0.1287	2.55	12.807	0.07808
1.56	4.7588	0.2101	2.06	7.8460	0.1275	2.56	12.936	0.07730
1.57	4.8066	0.2080	2.07	7.9248	0.1262	2.57	13.066	0.07654
1.58	4.8550	0.2060	2.08	8.0045	0.1249	2.58	13.197	0.07577
1.59	4.9037	0.2039	2.09	8.0849	0.1237	2.59	13.330	0.07502
1.60	4.9530	0.2019	2.10	8.1662	0.1225	2.60	13.464	0.07427
1.61	5.0028	0.1999	2.11	8.2482	0.1212	2.61	13.599	0.07353
1.62	5.0531	0.1979	2.12	8.3311	0.1200	2.62	13.736	0.07280
1.63	5.1039	0.1959	2.13	8.4149	0.1188	2.63	13.874	0.07208
1.64	5.1552	0.1940	2.14	8.4994	0.1177	2.64	14.013	0.07136
1.65	5.2070	0.1920	2.15	8.5849	0.1165	2.65	14.154	0.07065
1.66	5.2593	0.1901	2.16	8.6711	0.1153	2.66	14.296	0.06995
1.67	5.3122	0.1882	2.17	8.7583	0.1142	2.67	14.440	0.06925
1.68	5.3656	0.1864	2.18	8.8463	0.1130	2.68	14.585	0.06856
1.69	5.4195	0.1845	2.19	8.9352	0.1119	2.69	14.732	0.06788
1.70	5.4739	0.1827	2.20	9.0250	0.1108	2.70	14.880	0.06721
1.71	5.5290	0.1809	2.21	9.1157	0.1097	2.71	15.029	0.06654
1.72	5.5845	0.1791	2.22	9.2073	0.1086	2.72	15.180	0.06587
1.73	5.6407	0.1773	2.23	9.2999	0.1075	2.73	15.333	0.06522
1.74	5.6973	0.1755	2.24	9.3933	0.1065	2.74	15.487	0.06457
1.75	5.7546	0.1738	2.25	9.4877	0.1054	2.75	15.643	0.06393
1.76	5.8124	0.1720	2.26	9.5831	0.1044	2.76	15.800	0.06329
1.77	5.8709	0.1703	2.27	9.6794	0.1033	2.77	15.959	0.06266
1.78	5.9299	0.1686	2.28	9.7767	0.1023	2.78	16.119	0.06204
1.79	5.9895	0.1670	2.29	9.8749	0.1013	2.79	16.281	0.06142
1.80	6.0496	0.1653	2.30	9.9742	0.1003	2.80	16.445	0.06081
1.81	6.1104	0.1637	2.31	10.074	0.09926	2.81	16.610	0.06020
1.82	6.1719	0.1620	2.32	10.176	0.09827	2.82	16.777	0.05961
1.83	6.2339	0.1604	2.33	10.278	0.09730	2.83	16.945	0.05901
1.84	6.2965	0.1588	2.34	10.381	0.09633	2.84	17.116	0.05843
1.85	6.3598	0.1572	2.35	10.486	0.09537	2.85	17.288	0.05784
1.86	6.4237	0.1557	2.36	10.591	0.09442	2.86	17.462	0.05727
1.87	6.4883	0.1541	2.37	10.697	0.09348	2.87	17.637	0.05670
1.88	6.5535	0.1526	2.38	10.805	0.09255	2.88	17.814	0.05613
1.89	6.6194	0.1511	2.39	10.913	0.09163	2.89	17.993	0.05558
1.90	6.6859	0.1496	2.40	11.023	0.09072	2.90	18.174	0.05502
1.91	6.7531	0.1481	2.41	11.134	0.08982	2.91	18.357	0.05448
1.92	6.8210	0.1466	2.42	11.246	0.08892	2.92	18.541	0.05393
1.93	6.8895	0.1451	2.43	11.359	0.08804	2.93	18.728	0.05340
1.94	6.9588	0.1437	2.44	11.473	0.08716	2.94	18.916	0.05287
1.95	7.0287	0.1423	2.45	11.588	0.08629	2.95	19.106	0.05234
1.96	7.0993	0.1409	2.46	11.705	0.08543	2.96	19.298	0.05182
1.97	7.1707	0.1395	2.47	11.822	0.08458	2.97	19.492	0.05130
1.98	7.2427	0.1381	2.48	11.941	0.08374	2.98	19.688	0.05079
1.99	7.3155	0.1367	2.49	12.061	0.08291	2.99	19.886	0.05029

Tabl. 6 c.d.

x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}
3.00	20.086	0.04979	3.55	34.813	0.02872	5.0	148.41	0.00674
3.01	20.287	0.04929	3.56	35.163	0.02844	5.1	164.02	0.00610
3.02	20.491	0.04880	3.57	35.517	0.02816	5.2	181.27	0.00552
3.03	20.697	0.04832	3.58	35.874	0.02788	5.3	200.34	0.00499
3.04	20.905	0.04783	3.59	36.234	0.02760	5.4	221.41	0.00452
3.05	21.115	0.04736	3.60	36.598	0.02732	5.5	244.69	0.00409
3.06	21.328	0.04689	3.61	36.966	0.02705	5.6	270.43	0.00370
3.07	21.542	0.04642	3.62	37.338	0.02678	5.7	298.87	0.00335
3.08	21.758	0.04596	3.63	37.713	0.02652	5.8	330.30	0.00303
3.09	21.977	0.04550	3.64	38.092	0.02625	5.9	365.04	0.00274
3.10	22.198	0.04505	3.65	38.475	0.02599	6.0	403.43	0.00248
3.11	22.421	0.04460	3.66	38.861	0.02573	6.1	445.86	0.00224
3.12	22.646	0.04416	3.67	39.252	0.02548	6.2	492.75	0.00203
3.13	22.874	0.04372	3.68	39.646	0.02522	6.3	544.57	0.00184
3.14	23.104	0.04328	3.69	40.045	0.02497	6.4	601.85	0.00166
3.15	23.336	0.04285	3.70	40.447	0.02472	6.5	665.14	0.00150
3.16	23.571	0.04243	3.71	40.854	0.02448	6.6	735.10	0.00136
3.17	23.807	0.04200	3.72	41.264	0.02423	6.7	812.41	0.00123
3.18	24.047	0.04159	3.73	41.679	0.02399	6.8	897.85	0.00111
3.19	24.288	0.04117	3.74	42.098	0.02375	6.9	992.27	0.00101
3.20	24.533	0.04076	3.75	42.521	0.02352	7.0	1096.6	0.000912
3.21	24.779	0.04036	3.76	42.948	0.02328	7.1	1212.0	0.000825
3.22	25.028	0.03996	3.77	43.380	0.02305	7.2	1339.4	0.000747
3.23	25.280	0.03956	3.78	43.816	0.02282	7.3	1480.3	0.000676
3.24	25.534	0.03916	3.79	44.256	0.02260	7.4	1636.0	0.000611
3.25	25.790	0.03877	3.80	44.701	0.02237	7.5	1808.0	0.000553
3.26	26.050	0.03839	3.81	45.150	0.02215	7.6	1998.2	0.000500
3.27	26.311	0.03801	3.82	45.604	0.02193	7.7	2208.3	0.000453
3.28	26.576	0.03763	3.83	46.063	0.02171	7.8	2440.6	0.000410
3.29	26.843	0.03725	3.84	46.525	0.02149	7.9	2697.3	0.000371
3.30	27.113	0.03688	3.85	46.993	0.02128	8.0	2981.0	0.000335
3.31	27.385	0.03652	3.86	47.465	0.02107	8.1	3294.5	0.000304
3.32	27.660	0.03615	3.87	47.942	0.02086	8.2	3641.0	0.000275
3.33	27.938	0.03579	3.88	48.424	0.02065	8.3	4023.9	0.000249
3.34	28.219	0.03544	3.89	48.911	0.02045	8.4	4447.1	0.000225
3.35	28.503	0.03508	3.90	49.402	0.02024	8.5	4914.8	0.000203
3.36	28.789	0.03474	3.91	49.899	0.02004	8.6	5431.7	0.000184
3.37	29.079	0.03439	3.92	50.400	0.01984	8.7	6002.9	0.000167
3.38	29.371	0.03405	3.93	50.907	0.01964	8.8	6634.2	0.000151
3.39	29.666	0.03371	3.94	51.419	0.01945	8.9	7332.0	0.000136
3.40	29.964	0.03337	3.95	51.935	0.01925	9.0	8103.1	0.000123
3.41	30.265	0.03304	3.96	52.457	0.01906	9.1	8955.3	0.000112
3.42	30.569	0.03271	3.97	52.985	0.01887	9.2	9897.1	0.000101
3.43	30.877	0.03239	3.98	53.517	0.01869	9.3	10938	9.14E-05
3.44	31.187	0.03206	3.99	54.055	0.01850	9.4	12088	8.27E-05
3.45	31.500	0.03175	4.0	54.598	0.01832	9.5	13360	7.49E-05
3.46	31.817	0.03143	4.1	60.340	0.01657	9.6	14765	6.77E-05
3.47	32.137	0.03112	4.2	66.686	0.01500	9.7	16318	6.13E-05
3.48	32.460	0.03081	4.3	73.700	0.01357	9.8	18034	5.55E-05
3.49	32.786	0.03050	4.4	81.451	0.01228	9.9	19930	5.02E-05
3.50	33.115	0.03020	4.5	90.017	0.01111	10	22026	4.54E-05
3.51	33.448	0.02990	4.6	99.484	0.01005	20	4.85E+0	2.06E-09
3.52	33.784	0.02960	4.7	109.95	0.00910	30	1.07E+1	9.36E-14
3.53	34.124	0.02930	4.8	121.51	0.00823	40	2.35E+1	4.25E-18
3.54	34.467	0.02901	4.9	134.29	0.00745	50	5.18E+2	1.93E-22

Tabl. 7a. **LINIOWE WSPÓŁCZYNNIKI μ (cm⁻¹) OSŁABIANIA
PROMIENIOWANIA γ W WYBRANYCH MATERIAŁACH**

Energia promieniowania MeV	Ołów $\rho=11,34$ g/cm ³	Żeliwo $\rho=7,2$ g/cm ³	Aluminium $\rho=2,7$ g/cm ³	Beton $\rho=2,3$ g/cm ³	Woda $\rho=1,0$ g/cm ³
0,1	60,0	2,57	0,444	0,370	0,171
0,125	35,0	1,78	0,388	0,330	0,159
0,15	24,4	1,44	0,362	0,308	0,151
0,175	15,4	1,16	0,336	0,286	0,143
0,2	11,8	1,03	0,323	0,275	0,137
0,25	6,58	0,86	0,296	0,252	0,127
0,3	4,76	0,78	0,278	0,236	0,119
0,35	3,31	0,71	0,265	0,226	0,112
0,4	2,51	0,67	0,251	0,214	0,106
0,5	1,72	0,60	0,228	0,194	0,097
0,6	1,37	0,55	0,210	0,179	0,0894
0,7	1,12	0,51	0,196	0,167	0,0885
0,8	0,99	0,47	0,184	0,156	0,0786
0,9	0,86	0,46	0,176	0,150	0,0743
1,0	0,79	0,43	0,166	0,141	0,0706
1,1	0,72	0,41	0,158	0,134	0,0673
1,2	0,68	0,39	0,152	0,129	0,0644
1,3	0,64	0,37	0,146	0,124	0,0620
1,4	0,60	0,36	0,141	0,120	0,0597
1,5	0,58	0,35	0,137	0,116	0,0576
1,6	0,55	0,34	0,131	0,111	0,0555
1,7	0,54	0,33	0,128	0,109	0,0538
1,8	0,53	0,32	0,124	0,196	0,0521
1,9	0,52	0,31	0,120	0,102	0,0507
2,0	0,51	0,30	0,117	0,100	0,0493
2,5	0,45	0,28	0,106	0,090	0,0438
3,0	0,46	0,26	0,094	0,080	0,0396
4,0	0,47	0,24	0,084	0,071	0,0339
5,0	0,49	0,23	0,075	0,064	0,0302
6,0	0,51	0,22	0,072	0,061	0,0277
7	0,53	0,24	0,070	0,060	0,0256
8	0,55	0,23	0,068	0,058	0,0242
9	0,58	0,23	0,063	0,054	0,0231
10	0,60	0,23	0,062	0,053	0,0221

Tabl. 7b. **LINIOWE WSPÓŁCZYNNIKI μ (cm⁻¹) OSŁABIANIA
PROMIENIOWANIA γ W WYBRANYCH METALACH**

Energia pro- mieniowania MeV	Żelazo $\rho=7,89$ g/cm ³	Miedź $\rho=8,9$ g/cm ³	Cynk $\rho=7,1$ g/cm ³	Tantal $\rho=16,6$ g/cm ³	Platyna $\rho=21,54$ g/cm ³
0,1	2,82	3,94	3,10	73,2	102
0,125	1,95	2,80	2,40	45,0	64,0
0,15	1,58	1,92	1,85	30,0	42,0
0,175	1,27	1,62	1,34	20,6	27,0
0,2	1,13	1,40	1,17	12,0	20,0
0,25	0,94	1,09	0,900	8,00	11,00
0,3	0,85	0,950	0,772	4,90	8,30
0,35	0,78	0,886	0,705	3,82	5,70
0,4	0,73	0,824	0,654	3,02	4,46
0,5	0,66	0,732	0,580	2,14	3,08
0,6	0,60	0,670	0,531	1,74	2,43
0,7	0,56	0,624	0,493	1,47	2,05
0,8	0,52	0,585	0,462	1,31	1,79
0,9	0,50	0,551	0,437	1,17	1,60
1,0	0,47	0,522	0,413	1,07	1,45
1,1	0,45	0,497	0,394	0,945	1,34
1,2	0,43	0,476	0,377	0,917	1,25
1,3	0,41	0,456	0,362	0,888	1,18
1,4	0,40	0,442	0,348	0,850	1,13
1,5	0,38	0,426	0,336	0,817	1,10
1,6	0,37	0,413	0,326	0,788	1,06
1,7	0,36	0,400	0,316	0,764	1,02
1,8	0,35	0,390	0,308	0,744	0,993
1,9	0,34	0,380	0,300	0,727	0,964
2,0	0,33	0,371	0,294	0,713	0,941
2,2	0,32	0,356	0,282	0,691	0,907
2,4	0,31	0,343	0,272	0,675	0,888
2,6	0,30	0,332	0,265	0,664	0,875
2,8	0,29	0,324	0,258	0,658	0,860
3,0	0,28	0,317	0,252	0,654	0,863
4,0	0,26	0,294	0,234	0,656	0,873
5,0	0,25	0,282	0,224	0,682	0,908
6,0	0,24	0,274	0,220	-	-

Tabl. 8. **GĘSTOŚĆ NIEKTÓRYCH MATERIAŁÓW**

Materiał	Gęstość $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Powietrze	0,0013
Papier	0,7 - 1,1
Skóra	0,85 - 1,0
Guma	0,91 - 0,93
Polietylen	0,91 - 0,95
Szkło organiczne	1,2
Bakelit	1,3
Cegła	1,4 - 1,6
Cegła glin. pełna	1,8
Cegła sylikatowa	1,85
Kość	1,8 - 2,0
Beton zwykły	2,2 - 2,35
Beton barytowy	2,9 - 3,4
Beton limonitowy	3,0 - 3,8
Grafit	2,26
Gips	2,3
Krzem	2,3
Szkło	2,4 - 2,75
Aluminium	2,7
Duraluminium	2,79
Szkło ołowiowe	3,4 - 4,8
Tytan	4,5
Cyna	7,0 - 7,15
Żeliwo	7,2
Żelazo, stal	7,1 - 7,9
Mosiądz	8,45 - 8,6
Miedź	8,9
Stop ołów-cyna	9,0 - 10,5
Ołów	11,3
Uran	18,7
Wolfram	19,3

TABL. 9 WYBRANE GRANICZNE WARTOŚCI AKTYWNOŚCI CAŁKOWITEJ I STĘŻENIA PROMIENIOTWÓRCZEGO IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

- jako kryteria zwolnienia z obowiązku uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia

wg Rozporządzenia 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,

- oraz będące podstawą kwalifikowania odpadów promieniotwórczych

wg Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego.

Izotop promieniotwórczy k	Aktywność całkowita a_k (Bq)	Stężenie promieniotwórcze c_k (kBq/kg)	Izotop promieniotwórczy k	Aktywność całkowita a_k (Bq)	Stężenie promieniotwórcze c_k (kBq/kg)
H-3	10^9	10^6	Mo-99	10^6	10^2
C-14	10^7	10^4	Tc-99m	10^7	10^2
Na-22	10^6	10	Ru-103	10^6	10^2
Na-24	10^5	10	Ag-110m	10^6	10
P-32	10^5	10^3	Ag-111	10^6	10^3
S-35	10^8	10^5	I-125	10^6	10^3
Ar-41	10^9	10^2	I-131	10^6	10^2
K-40	10^6	10^2	Cs-134m	10^5	10^3
Ca-45	10^7	10^4	Cs-134	10^4	10
Cr-51	10^7	10	Cs-137+	10^4	10
Mn-52	10^5	10	Ba-140+	10^5	10
Fe-59	10^6	10	Ce-141	10^7	10^2
Co-60	10^5	10	Ce-144+	10^5	10^2
Ni-63	10^8	10^5	Ir-192	10^4	10
Cu-64	10^6	10^2	Au-198	10^6	10^2

Zn-65	10⁶	10	Hg-203	10⁵	10²
As-76	10⁵	10²	Tl-204	10⁴	10⁴
Se-75	10⁶	10²	Po-210	10⁴	10
Br-82	10⁶	10	Ra-226+	10⁴	10
Kr-85	10⁴	10⁵	Th-228	10⁴	1
Sr-89	10⁵	10³	U-235+	10⁴	10
Sr-90+	10⁴	10²	U-238+	10⁴	10
Y-90	10⁵	10³	U-238 nat	10³	1
Zr-95	10⁶	10	Pu-239	10⁴	1
Nb-98	10⁵	10	Am-241	10⁴	1

Uwaga! Izotopy oznaczone wskaźnikiem „+” oznaczają izotopy macierzyste, znajdujące się w stanie równowagi wiekowej ze swymi pochodnymi.

Tabl. 10 Grubości w cm warstw **ołowiu** o gęstości $11,3 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8
2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,25	1,3
5	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,5	1,9	2,2	2,5	2,8
8	0,2	0,5	0,8	1,1	1,5	1,95	2,35	2,8	3,2	3,5
10	0,3	0,55	0,9	1,3	1,6	2,1	2,6	3,05	3,5	3,8
20	0,3	0,6	1,1	1,5	2,0	2,6	3,25	3,85	4,4	4,9
30	0,35	0,7	1,15	1,7	2,3	3,0	3,65	4,3	4,95	5,5
40	0,4	0,8	1,3	1,8	2,4	3,1	3,8	4,5	5,2	5,8
50	0,4	0,85	1,4	1,95	2,6	3,25	3,95	4,6	5,3	6,0
60	0,45	0,9	1,45	2,05	2,7	3,45	4,2	4,95	5,6	6,3
80	0,45	1,0	1,55	2,15	2,8	3,7	4,5	5,3	6,0	6,7
100	0,5	1,0	1,6	2,3	3,0	3,85	4,7	5,5	6,3	7,0
$2 \cdot 10^2$	0,6	1,25	1,9	2,6	3,4	4,4	5,3	6,3	7,2	8,0
$5 \cdot 10^2$	0,65	1,4	2,2	3,1	4,0	5,1	6,1	7,2	8,2	9,2
10^3	0,7	1,5	2,4	3,3	4,4	5,7	6,95	8,1	9,2	10,2
$2 \cdot 10^3$	0,85	1,7	2,7	3,8	5,0	6,3	7,6	8,8	10,0	11,1
$5 \cdot 10^3$	0,9	1,9	3,0	4,2	5,5	7,0	8,5	9,9	11,2	12,4
10^4	1,05	2,1	3,3	4,55	5,9	7,5	9,1	10,6	12,0	13,3
$2 \cdot 10^4$	1,1	2,2	3,5	4,85	6,3	8,0	9,7	11,3	12,8	14,2
$5 \cdot 10^4$	1,15	2,35	3,7	5,2	6,9	8,7	10,5	12,3	14,0	15,6
10^5	1,15	2,4	3,8	5,4	7,2	9,2	11,1	13,0	14,8	16,5
$2 \cdot 10^5$	1,3	2,6	4,1	5,7	7,6	9,6	11,6	13,6	15,5	17,5
$5 \cdot 10^5$	1,4	2,8	4,4	6,1	8,2	10,2	12,3	14,4	16,5	18,5
10^6	1,45	3,0	4,7	6,5	8,7	10,9	13,1	15,3	17,5	19,5
$2 \cdot 10^6$	1,55	3,2	5,0	7,0	9,1	11,5	14,0	16,3	18,5	20,4
$5 \cdot 10^6$	1,65	3,3	5,3	7,3	9,6	12,1	14,7	17,2	19,5	21,6
10^7	1,7	3,4	5,4	7,6	10,1	12,6	15,2	17,8	20,3	22,5

Tabl. 10 /c.d./ Grubości w cm warstw **ołowiu** o gęstości $11,3 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,95	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9
2	1,5	1,7	1,85	2,0	2,0	2,1	2,0	1,6	1,5	1,35
5	3,4	3,8	4,1	4,3	4,4	4,6	4,6	3,8	3,3	3,0
8	4,2	4,8	5,25	5,5	5,7	5,9	5,8	5,0	4,3	3,8
10	4,5	5,1	5,6	5,9	6,1	6,5	6,4	5,5	4,9	4,2
20	5,8	6,6	7,2	7,6	7,8	8,3	8,2	7,1	6,3	5,6
30	6,5	7,3	8,0	8,5	8,8	9,3	9,2	8,0	7,2	6,3
40	6,85	7,8	8,6	9,1	9,4	10,0	9,9	8,7	7,8	6,8
50	7,2	8,2	9,0	9,6	10,0	10,6	10,5	9,2	8,3	7,3
60	7,5	8,6	9,5	10,1	10,4	11,0	10,9	9,7	8,7	7,7
80	8,0	9,2	10,1	10,7	11,1	11,7	11,6	10,4	9,4	8,2
100	8,45	9,95	10,6	11,3	11,7	12,2	12,1	10,9	9,9	8,7
$2 \cdot 10^2$	9,65	11,1	12,2	12,9	13,4	14,0	13,8	12,6	11,4	10,2
$5 \cdot 10^2$	11,3	12,9	14,2	15,0	15,4	16,3	16,1	14,9	13,3	11,9
10^3	12,3	14,1	15,5	16,5	17,0	18,0	17,8	16,5	15,1	13,3
$2 \cdot 10^3$	13,5	15,4	16,8	17,5	18,5	19,7	19,5	18,1	15,6	14,8
$5 \cdot 10^3$	14,9	17,0	18,6	19,8	20,5	21,9	21,7	20,3	18,5	16,5
10^4	16,1	18,3	20,1	21,3	22,1	23,5	23,4	22,0	20,1	18,0
$2 \cdot 10^4$	17,2	19,5	21,4	22,7	23,5	25,1	25,0	23,6	21,7	19,5
$5 \cdot 10^4$	18,8	21,4	23,3	24,7	25,5	27,3	27,2	25,8	23,7	21,5
10^5	20,1	22,7	24,7	26,2	27,0	28,9	28,9	27,5	25,3	22,9
$2 \cdot 10^5$	21,3	24,1	26,1	27,6	28,5	30,5	32,5	29,2	26,9	24,3
$5 \cdot 10^5$	22,3	25,4	27,8	29,5	30,4	32,7	32,7	31,4	28,9	26,3
10^6	23,5	26,8	29,2	31,0	32,0	34,3	34,4	33,0	30,4	27,7
$2 \cdot 10^6$	24,4	27,8	30,5	32,4	33,5	36,0	36,1	34,6	32,0	29,2
$5 \cdot 10^6$	26,2	29,7	32,3	34,3	35,5	38,1	38,3	36,8	34,0	31,1
10^7	27,5	31,2	33,9	35,8	37	39,7	39,9	38,4	35,5	32,5

Tabl. 11 Grubości w cm warstw **żelaza** o gęstości $7,9 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,6	1,7	1,85	2,0	2,05	2,1
2	0,7	1,2	1,7	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3
5	1,4	2,5	3,4	4,1	4,8	5,1	5,5	5,7	6,1	6,4
8	1,7	3,1	4,2	5,1	5,8	6,3	6,7	7,1	7,5	7,8
10	1,9	3,5	4,6	5,6	6,3	6,8	7,3	7,7	8,1	8,5
20	2,3	4,3	5,7	6,8	7,7	8,3	8,8	9,4	9,8	10,3
30	2,4	4,5	6,2	7,5	8,5	9,2	9,8	10,4	10,9	11,4
40	2,5	4,8	6,6	8,0	9,1	9,8	10,5	11,1	11,7	12,2
50	2,9	5,2	7,1	8,4	9,5	10,3	11,0	11,6	12,2	12,7
60	3,1	5,6	7,5	8,8	9,8	10,7	11,4	12,1	12,7	13,2
80	3,2	5,9	7,7	9,2	10,4	11,2	12,0	12,7	13,4	14,0
100	3,4	6,1	8,1	9,6	10,8	11,7	12,5	13,2	13,9	14,5
$2 \cdot 10^2$	4,2	7,0	9,1	10,7	12,0	13,1	14,0	14,8	15,6	16,3
$5 \cdot 10^2$	4,4	7,7	10,1	12,0	13,4	14,9	16,0	17,0	17,9	18,7
10^3	4,5	8,2	11,0	13,2	15,0	16,3	17,5	18,6	19,6	20,5
$2 \cdot 10^3$	4,9	9,0	12,1	14,4	16,2	17,7	19,3	20,2	21,2	22,2
$5 \cdot 10^3$	5,6	10,1	13,4	15,8	17,7	19,3	20,7	22,0	23,2	24,3
10^4	6,8	11,5	14,7	17,1	19,0	20,7	22,3	23,6	24,9	26,0
$2 \cdot 10^4$	8,0	12,9	16,0	18,3	20,2	21,9	23,4	24,8	26,3	27,6
$5 \cdot 10^4$	8,6	13,8	17,0	19,6	21,8	23,6	25,2	26,9	28,4	29,9
10^5	10,0	15,8	18,2	20,8	23,0	24,9	26,7	28,4	30,0	31,5
$2 \cdot 10^5$	11,3	15,9	19,3	21,8	24,1	26,1	28,1	29,9	31,6	33,3
$5 \cdot 10^5$	12,0	16,9	20,4	23,2	25,6	27,8	29,9	31,8	33,6	35,4
10^6	12,8	17,9	21,4	24,2	26,7	28,9	31,2	33,3	35,2	37,0
$2 \cdot 10^6$	13,5	18,9	22,1	25,0	27,7	30,3	32,7	34,8	36,8	38,7
$5 \cdot 10^6$	14,5	19,4	23,2	26,5	29,3	32,2	34,6	36,7	38,8	40,9
10^7	15,0	20,3	24,3	27,6	30,5	33,2	35,8	38,1	40,2	42,4

Tabl. 11 /c.d./ Grubości w cm warstw **żelaza** o gęstości $7,9 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	2,4	2,0
2	3,45	3,6	3,8	3,9	4,1	4,4	4,5	4,6	4,0	3,4
5	6,9	7,4	7,8	8,1	8,3	8,9	9,4	9,6	9,0	8,0
8	8,5	9,1	9,6	10,1	10,3	11,2	11,6	12,1	11,2	10,4
10	9,3	10,0	10,6	11,0	11,4	12,2	12,6	13,2	12,4	11,4
20	11,3	12,2	13,0	13,6	14,7	15,3	15,9	16,6	16,0	15,0
30	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	17,0	17,7	18,8	18,0	17,0
40	13,3	14,4	15,3	16,1	16,6	18,2	19,1	20,4	19,4	18,4
50	13,9	15,1	16,1	16,9	17,5	19,1	20,0	21,5	20,6	19,6
60	14,5	15,7	16,7	17,6	18,2	19,9	21,0	22,4	21,4	20,6
80	15,5	16,3	17,8	18,7	19,4	21,2	22,2	24,0	23,0	22,0
100	16,1	17,3	18,5	19,5	20,2	22,1	23,3	25,0	24,0	23,1
$2 \cdot 10^2$	18,0	19,6	20,8	22,0	22,8	25,0	26,6	28,4	27,4	26,6
$5 \cdot 10^2$	20,6	22,3	23,7	25,0	25,9	26,8	30,6	32,7	32,0	31,2
10^3	22,6	24,4	26,1	27,5	28,6	31,7	33,7	36,0	35,4	34,6
$2 \cdot 10^3$	24,5	26,5	28,3	30,0	31,2	34,6	36,8	39,2	38,7	37,9
$5 \cdot 10^3$	27,0	29,4	31,4	33,3	34,3	38,2	40,7	43,2	43,0	42,2
10^4	28,8	31,3	33,6	35,5	36,9	40,9	43,7	46,5	46,3	45,2
$2 \cdot 10^4$	30,6	33,2	35,6	37,8	39,2	43,4	46,5	50,8	49,6	48,6
$5 \cdot 10^4$	33,0	35,9	38,4	40,8	42,3	47,2	50,4	55,0	54,0	53,0
10^5	34,9	38,0	40,7	43,2	44,7	50,0	53,4	58,3	57,2	56,1
$2 \cdot 10^5$	36,8	40,1	43,0	45,4	47,1	52,6	56,4	61,8	60,8	59,8
$5 \cdot 10^5$	39,1	42,5	45,5	48,3	49,9	56,1	60,2	66,0	65,0	64,0
10^6	41,1	44,7	47,8	50,6	52,3	58,8	63,3	69,0	68,3	67,0
$2 \cdot 10^6$	42,9	46,6	49,9	52,8	54,7	61,4	66,2	72,3	71,2	70,3
$5 \cdot 10^6$	45,5	49,4	52,7	55,7	57,7	64,9	70,3	76,5	75,5	74,8
10^7	47,1	51,3	54,8	57,9	60,1	67,5	73,1	79,4	78,8	78,0

Tabl. 12 Grubości w cm warstw **betonu** o gęstości $2,3 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	2,6	4,7	6,3	7,5	8,2	8,2	8,2	88,3	8,3	8,5
2	4,7	7,6	9,9	11,3	12,3	12,4	12,4	12,6	12,7	12,9
5	5,6	11,0	15,5	18,6	21,1	21,8	22,3	22,6	23,0	23,5
8	7,0	12,9	17,8	22,0	24,6	25,5	26,4	27,2	27,9	28,8
10	8,2	14,6	19,7	23,7	25,8	26,8	27,6	28,4	29,1	29,9
20	8,2	15,3	21,4	25,8	29,9	31,9	33,6	35,0	36,2	37,0
30	8,5	16,4	22,8	27,7	32,8	34,8	36,4	37,8	39,2	40,5
40	8,5	17,6	24,2	29,6	34,0	36,2	37,9	39,6	41,3	42,8
50	9,9	18,8	25,1	30,8	35,0	37,6	39,4	41,2	42,6	44,6
60	11,0	20,0	26,1	31,7	36,4	38,5	40,5	42,5	44,1	45,8
80	11,5	20,4	27,7	33,6	38,7	41,1	43,0	44,6	46,5	48,1
100	11,5	21,1	28,9	35,2	39,9	43,0	45,3	47,2	48,8	50,5
$2 \cdot 10^2$	12,7	23,5	32,4	39,2	44,6	47,9	50,5	52,6	56,4	56,4
$5 \cdot 10^2$	13,8	24,6	35,2	43,9	50,5	54,5	57,3	58,8	62,5	64,6
10^3	15,5	28,2	39,2	48,1	55,2	59,2	62,5	65,3	67,8	70,4
$2 \cdot 10^3$	17,6	30,5	42,3	52,4	59,9	64,1	67,4	70,4	73,2	75,7
$5 \cdot 10^3$	18,6	33,1	45,6	56,4	65,7	70,0	74,0	77,0	80,2	82,8
10^4	18,8	35,2	48,5	60,3	69,3	74,7	79,1	82,8	86,2	89,2
$2 \cdot 10^4$	21,1	38,4	51,9	63,4	72,6	78,2	83,1	87,3	91,1	94,5
$5 \cdot 10^4$	23,3	42,3	56,4	68,6	78,1	83,4	88,7	93,4	97,9	102,1
10^5	30,5	50,5	64,6	75,1	82,8	88,3	93,5	98,1	102,5	106,8
$2 \cdot 10^5$	38,3	56,7	69,8	79,4	86,9	92,4	97,7	102,8	108,6	112,7
$5 \cdot 10^5$	44,8	61,5	73,7	83,7	91,6	98,1	103,9	109,5	114,8	119,7
10^6	49,3	56,4	79,8	89,8	97,4	103,7	109,2	114,1	119,5	124,4
$2 \cdot 10^6$	57,6	73,1	84,5	93,3	101,0	107,4	113,6	119,7	125,6	131,5
$5 \cdot 10^6$	59,4	79,7	91,6	100,6	106,0	114,1	120,2	126,0	131,7	133,8
10^7	64,0	84,9	95,7	103,7	110,3	117,4	123,6	130,0	136,2	142,0

Tabl. 12 /c.d./ Grubości w cm warstw **betonu** o gęstości $2,3 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,4	10,0	11,7	11,7	11,7
2	13,3	13,8	13,8	14,1	14,3	15,3	16,4	18,8	18,8	18,8
5	24,6	25,8	27,0	28,2	29,4	32,9	35,2	36,7	38,3	39,9
8	30,5	32,2	33,8	35,2	36,4	39,9	43,4	46,1	48,7	49,3
10	31,9	34,0	35,9	37,6	39,0	43,4	47,5	51,6	52,8	54,0
20	39,9	42,5	44,8	47,0	48,6	54,0	58,7	64,6	65,7	69,3
30	43,7	46,5	49,3	51,6	53,3	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1
40	45,3	49,8	52,8	55,2	57,3	64,0	69,8	77,5	79,2	84,5
50	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	66,9	72,8	81,6	83,9	89,8
60	50,1	54,0	57,5	60,5	62,7	69,8	74,0	85,1	88,0	93,9
80	52,4	56,4	59,9	63,4	65,7	74,0	81,0	90,4	93,9	100,4
100	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	77,5	84,5	95,1	96,0	105,1
$2 \cdot 10^2$	60,8	65,3	67,7	74,0	77,2	88,0	95,7	108,0	112,1	120,9
$5 \cdot 10^2$	69,8	74,8	79,6	84,5	88,5	101,0	110,4	124,4	129,7	139,7
10^3	76,1	81,7	87,6	92,7	97,0	110,9	120,9	137,9	143,2	155,0
$2 \cdot 10^3$	82,2	88,5	94,6	100,4	104,0	120,9	132,1	150,3	156,1	168,5
$5 \cdot 10^3$	90,2	97,4	104,2	110,9	115,5	132,7	146,8	166,7	173,8	186,7
10^4	97,2	104,5	111,5	118,6	124,7	143,2	156,7	179,0	187,8	201,3
$2 \cdot 10^4$	102,7	110,8	118,6	126,2	131,7	152,6	167,3	190,8	201,9	216,0
$5 \cdot 10^4$	111,5	120,4	126,4	136,2	142,0	164,9	181,4	206,6	218,4	233,6
10^5	116,9	126,6	135,7	144,4	150,7	173,8	191,4	218,4	231,3	248,9
$2 \cdot 10^5$	125,1	135,6	145,1	153,6	160,2	177,3	201,9	231,3	245,4	263,9
$5 \cdot 10^5$	133,8	142,5	152,6	162,0	169,2	196,0	214,8	247,1	261,8	281,2
10^6	140,2	149,8	160,6	171,4	176,6	205,4	225,4	260,6	274,7	295,8
$2 \cdot 10^6$	148,4	157,6	169,2	179,6	187,2	213,7	237,1	272,4	287,6	308,6
$5 \cdot 10^6$	154,7	165,8	178,0	189,0	197,8	227,8	250,1	287,6	302,9	327,5
10^7	160,0	170,8	183,6	194,9	203,4	236,0	259,4	299,4	314,6	340,5

Tabl. 13 Grubości w cm warstw **wody** o gęstości $1,0 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	14	20	25	24	22	22	21	19	19	18
2	16	27	30	30	29	28	27	27	26	26
5	27	37	42	44	46	46	47	47	48	48
8	32	44	49	51	54	55	57	58	59	59
10	35	47	52	55	57	58	60	61	62	63
20	41	54	60	64	68	71	72	73	74	75
30	45	58	65	69	73	75	77	79	81	82
40	48	62	68	72	76	78	81	83	85	87
50	46	63	71	76	79	81	84	86	89	92
60	50	65	73	78	82	84	87	89	92	95
80	53	68	76	81	85	88	91	94	97	100
100	53	70	79	84	88	92	95	98	101	104
$2 \cdot 10^2$	60	77	87	93	96	102	105	109	113	116
$5 \cdot 10^2$	66	85	96	104	110	116	120	124	128	132
10^3	72	92	104	113	116	124	129	134	138	143
$2 \cdot 10^3$	78	96	111	119	126	134	140	146	151	155
$5 \cdot 10^3$	81	105	120	130	138	147	154	160	165	170
10^4	91	114	126	139	147	155	162	168	175	181
$2 \cdot 10^4$	95	120	135	146	156	164	172	179	186	192
$5 \cdot 10^4$	103	128	144	156	167	175	183	190	196	205
10^5	110	135	152	164	175	184	192	201	209	210
$2 \cdot 10^5$	116	144	161	174	185	194	203	211	219	228
$5 \cdot 10^5$	121	152	170	185	197	205	214	223	232	241
10^6	128	156	176	192	205	215	224	233	243	253
$2 \cdot 10^6$	135	164	184	200	213	223	232	242	252	263
$5 \cdot 10^6$	143	173	194	210	224	234	245	256	267	278

Tabl. 13 /c.d./ Grubości w cm warstw **wody** o gęstości $1,0 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]					
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0
1,5	18	19	21	23	23	24
2	27	28	30	33	35	37
5	51	53	56	59	61	69
8	62	65	69	73	76	85
10	67	71	75	79	82	92
20	81	87	92	97	100	112
30	89	96	102	107	111	124
40	93	100	107	114	118	132
50	99	106	113	120	124	138
60	102	110	117	124	128	144
80	108	116	123	131	136	152
100	112	120	128	136	141	160
$2 \cdot 10^2$	126	135	144	153	158	180
$5 \cdot 10^2$	143	153	163	173	181	206
10^3	155	167	178	189	197	226
$2 \cdot 10^3$	168	181	193	205	214	246
$5 \cdot 10^3$	184	198	212	225	235	271
10^4	197	212	227	241	252	290
$2 \cdot 10^4$	209	225	247	256	267	310
$5 \cdot 10^4$	224	241	259	276	286	334
10^5	236	255	274	292	305	353
$2 \cdot 10^5$	249	269	288	306	320	370
$5 \cdot 10^5$	264	286	307	327	342	397
10^6	277	299	320	342	358	415
$2 \cdot 10^6$	289	314	336	358	374	435
$5 \cdot 10^6$	305	331	355	376	396	460
10^7	317	344	370	393	412	478

Tabl. 14 Grubości w cm warstw **uranu** o gęstości $18,7 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	0,02	0,03	0,05	0,08	0,12	0,18	0,23	0,30	0,35	0,4
2	0,03	0,05	0,08	0,15	0,22	0,30	0,42	0,52	0,57	0,67
5	0,05	0,08	0,15	0,35	0,52	0,70	1,0	1,2	1,3	1,5
10	0,07	0,10	0,26	0,50	0,75	1,0	1,3	1,6	1,8	2,0
20	0,08	0,13	0,33	0,63	0,98	1,3	1,7	2,0	2,3	2,5
30	0,09	0,15	0,37	0,72	1,1	1,5	1,9	2,3	2,5	2,8
40	0,1	0,16	0,40	0,78	1,2	1,6	2,0	2,5	2,7	3,0
50	0,10	0,17	0,43	0,62	1,3	1,7	2,2	2,6	2,9	3,2
60	0,11	0,18	0,45	0,65	1,3	1,8	2,3	2,7	3,0	3,3
80	0,12	0,19	0,48	0,90	1,4	1,9	2,4	2,9	3,2	3,5
100	0,13	0,20	0,50	0,95	1,5	2,0	2,5	3,0	3,3	3,7
$2 \cdot 10^2$	0,14	0,22	0,57	1,1	1,7	2,3	3,0	3,4	3,6	4,2
$5 \cdot 10^2$	0,15	0,25	0,67	1,3	2,0	2,7	3,4	4,0	4,4	4,9
10^3	0,16	0,30	0,75	1,4	2,2	3,0	3,7	4,4	4,8	5,4
$2 \cdot 10^3$	0,17	0,33	0,82	1,5	2,4	3,2	4,1	4,6	5,3	5,9
$5 \cdot 10^3$	0,18	0,37	0,92	1,7	2,6	3,7	4,6	5,3	5,9	6,6
10^4	0,19	0,40	1,0	1,9	2,6	4,0	4,9	5,7	6,4	7,1
$2 \cdot 10^4$	0,20	0,44	1,1	2,0	3,0	4,3	5,3	6,1	6,7	7,6
$5 \cdot 10^4$	0,21	0,47	1,2	2,2	3,1	4,7	5,8	6,7	7,5	8,3
10^5	0,22	0,50	1,3	2,3	3,5	5,0	6,2	7,1	8,0	8,8
$2 \cdot 10^5$	0,23	0,54	1,4	2,4	3,7	5,3	6,5	7,5	8,5	9,3
$5 \cdot 10^5$	0,24	0,57	1,4	2,6	4,0	5,7	7,0	8,1	9,1	10,0
10^6	0,25	0,60	1,5	2,8	4,2	6,0	7,3	8,5	9,6	10,5
$2 \cdot 10^6$	0,26	0,64	1,6	3,0	4,4	6,3	8,0	8,9	10,0	11,0
$5 \cdot 10^6$	0,27	0,67	1,7	3,1	4,7	6,7	8,3	9,5	10,6	11,7
10^7	0,28	0,70	1,8	3,3	4,9	7,0	8,7	9,9	11,1	12,2

Tabl. 14 /c.d./ Grubości w cm warstw **uranu** o gęstości $18,7 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

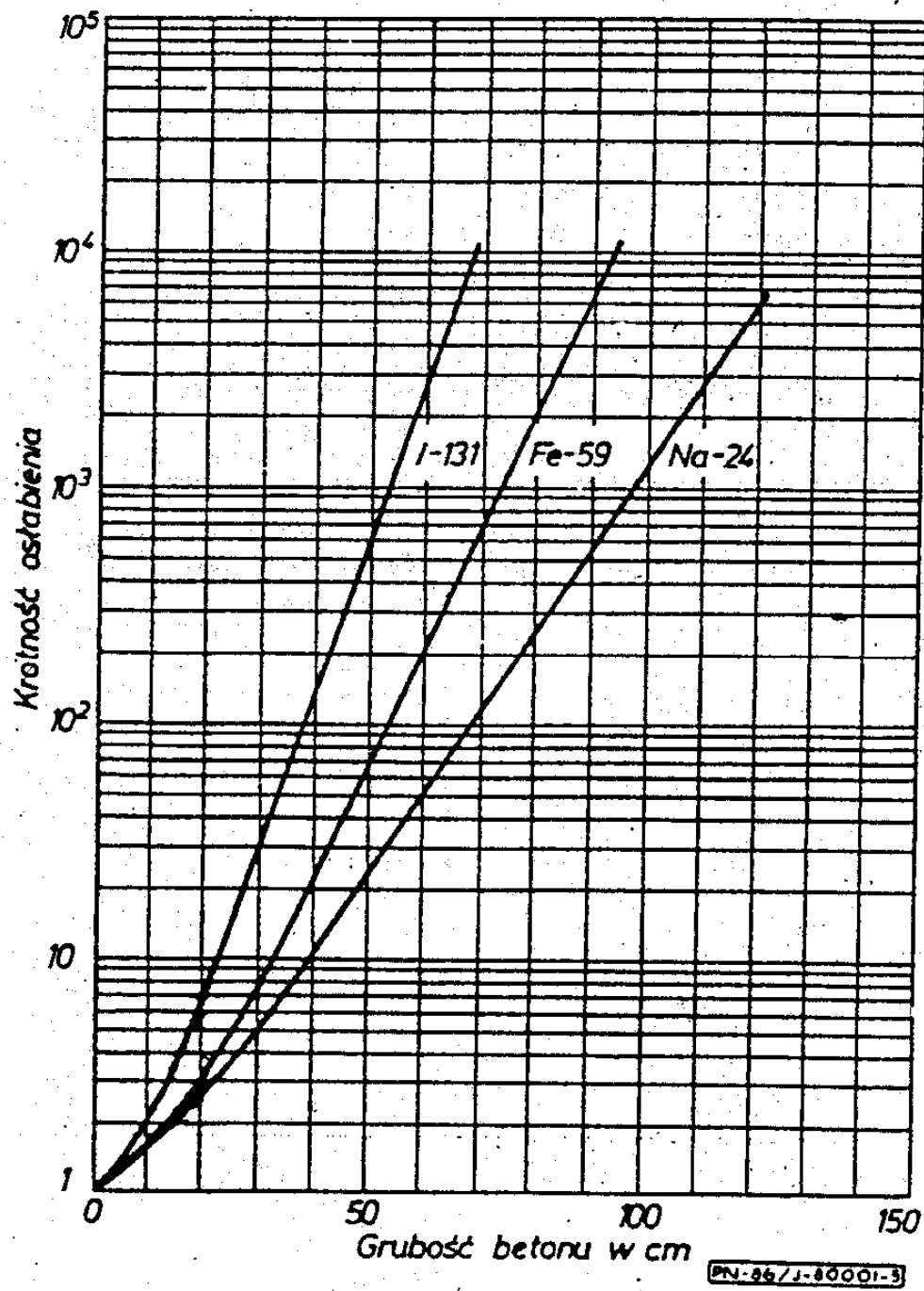
krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,47	0,53	0,60	0,67	0,68	0,70	0,69	0,60	0,50	0,4
2	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,0	0,85	0,8
5	1,6	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,5	2,2	2,0	1,6
10	2,4	2,7	3,0	3,3	3,4	3,6	3,5	3,1	2,8	2,6
20	3,0	3,4	3,6	4,2	4,4	4,7	4,6	4,1	3,7	3,5
30	3,4	3,8	4,2	4,7	4,9	5,2	5,1	4,6	4,2	3,9
40	3,7	4,1	4,6	5,1	5,3	5,7	5,6	5,0	4,5	4,2
50	3,9	4,4	4,9	5,4	5,6	6,0	5,9	5,3	4,8	4,5
60	4,0	4,5	5,1	5,6	5,8	6,2	6,1	5,5	5,0	4,7
80	4,3	4,8	5,4	6,0	6,2	6,6	6,5	5,9	5,4	5,0
100	4,5	5,1	5,7	6,3	6,5	7,0	6,9	6,2	5,7	5,3
$2 \cdot 10^2$	5,1	5,9	6,5	7,1	7,4	8,0	7,9	7,2	6,5	6,2
$5 \cdot 10^2$	5,9	6,7	7,5	8,2	8,6	9,2	9,1	8,3	7,7	7,4
10^3	6,5	7,4	8,3	9,0	9,4	10,1	10,0	9,3	8,6	8,1
$2 \cdot 10^3$	7,1	8,1	9,0	9,8	10,3	11,6	11,7	10,2	9,5	9,0
$5 \cdot 10^3$	7,9	9,0	10,0	10,9	11,4	12,3	12,2	11,5	10,7	10,1
10^4	8,5	9,8	10,6	11,6	12,3	13,3	13,2	12,4	11,6	11,0
$2 \cdot 10^4$	9,1	10,5	11,6	12,6	13,2	14,3	14,2	13,4	12,5	11,9
$5 \cdot 10^4$	10,0	11,4	12,6	13,7	14,3	15,5	15,4	14,6	13,7	13,0
10^5	10,5	12,1	13,4	14,5	15,1	16,5	16,4	15,6	14,6	13,9
$2 \cdot 10^5$	11,2	12,8	14,1	15,4	16,0	17,5	17,4	16,5	15,5	14,8
$5 \cdot 10^5$	12,0	13,7	15,1	16,5	17,1	18,7	18,6	17,8	16,7	15,9
10^6	12,6	14,4	15,9	17,4	18,0	19,6	19,5	18,7	17,6	16,8
$2 \cdot 10^6$	13,2	15,1	16,7	18,2	18,9	20,6	20,5	19,7	18,5	17,6
$5 \cdot 10^6$	14,0	16,0	17,7	19,3	20,0	21,8	21,7	20,9	19,7	18,8
10^7	14,6	16,7	18,5	20,1	20,9	22,8	22,7	21,9	20,6	19,6

Tabl. 15 Grubości w cm warstw **wolframu** o gęstości $19,3 \text{ g.cm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

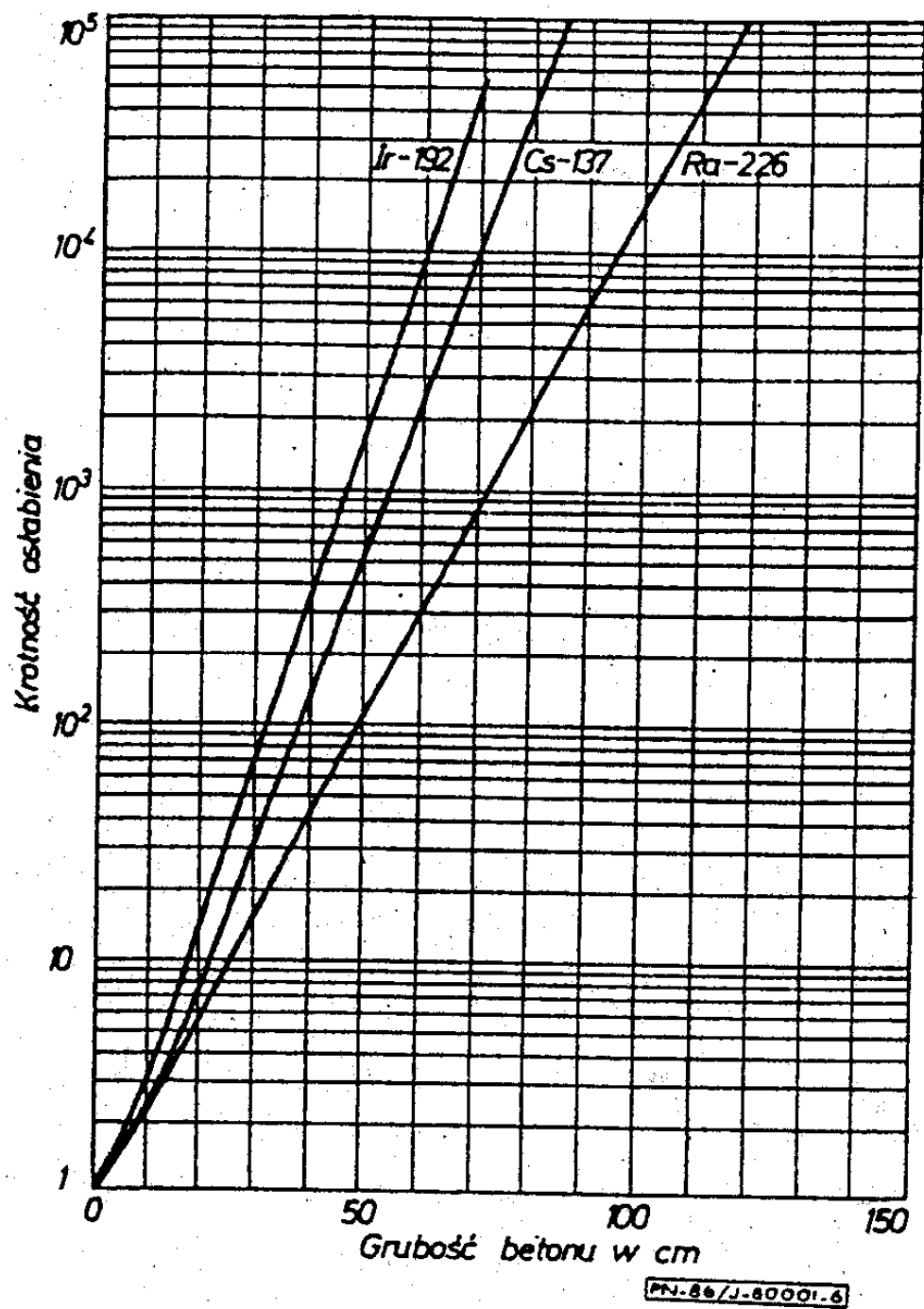
krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	0,04	0,08	0,15	0,25	0,28	0,36	0,43	0,49	0,61	0,70
2	0,07	0,14	0,25	0,40	0,36	0,43	0,56	0,70	0,80	0,93
5	0,15	0,28	0,40	0,56	0,76	0,92	1,1	1,3	1,6	1,8
10	0,21	0,38	0,60	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4
20	0,27	0,49	0,75	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0
30	0,30	0,56	0,88	1,2	1,6	1,9	2,3	2,6	3,0	3,4
40	0,31	0,60	0,95	1,3	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2	3,7
50	0,33	0,65	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,9
60	0,34	0,68	1,1	1,5	1,9	2,3	2,8	3,1	3,6	4,0
80	0,36	0,72	1,2	1,6	2,0	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3
100	0,38	0,75	1,3	1,7	2,1	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$2 \cdot 10^2$	0,42	0,85	1,4	1,8	2,4	2,9	3,4	3,9	4,5	5,1
$5 \cdot 10^2$	0,48	1,0	1,6	2,1	2,7	3,3	4,0	4,6	5,2	5,9
10^3	0,52	1,1	1,8	2,4	3,0	3,7	4,4	5,1	5,8	6,5
$2 \cdot 10^3$	0,56	1,2	1,9	2,6	3,3	4,0	4,8	5,6	6,3	7,2
$5 \cdot 10^3$	0,62	1,3	2,1	2,9	3,8	4,5	5,4	6,2	7,1	8,0
10^4	0,66	1,4	2,3	3,2	4,0	4,9	5,8	6,7	7,6	8,5
$2 \cdot 10^4$	0,72	1,5	2,4	3,4	4,3	5,2	6,2	7,2	8,2	9,3
$5 \cdot 10^4$	0,78	1,6	2,6	3,6	4,7	5,7	6,8	7,8	8,9	10,1
10^5	0,83	1,7	2,7	3,9	5,0	6,1	7,2	8,3	9,5	10,7
$2 \cdot 10^5$	0,88	1,9	2,9	4,1	5,3	6,5	7,7	8,8	10,0	11,4
$5 \cdot 10^5$	0,94	2,0	3,1	4,4	5,7	7,0	8,2	9,2	10,8	12,2
10^6	0,98	2,1	3,3	4,7	6,0	7,3	8,7	9,9	11,3	12,8
$2 \cdot 10^6$	1,0	2,2	3,5	4,9	6,2	7,6	9,0	10,4	11,8	13,4
$5 \cdot 10^6$	1,1	2,3	3,6	5,2	6,7	8,1	9,4	11,0	12,5	14,2
10^7	1,2	2,5	3,9	5,5	7,0	8,4	10,0	11,5	13,1	14,9

Tabl. 15 /c.d./ Grubości w cm warstw **wolframu** o gęstości $19,3 \text{ gcm}^{-3}$ dla różnych krotności osłabienia szerokiej wiązki promieniowania γ

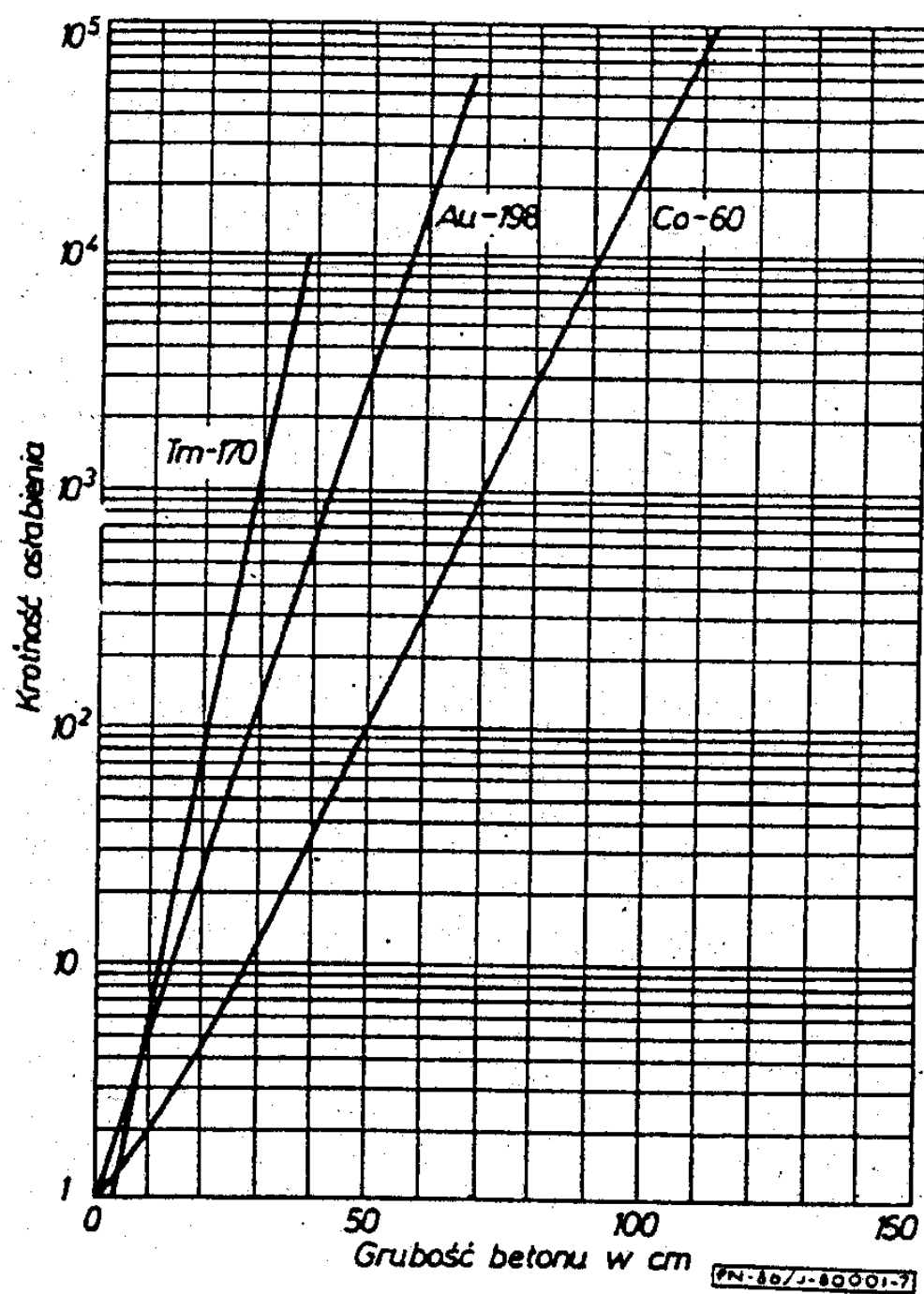
krotność osłabienia k	Energia promieniowania γ [MeV]									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,8	0,9	0,95	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,5
2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,0	0,9	0,85
5	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9	3,2	2,9	2,4	2,1	2,0
10	3,0	3,5	3,7	3,8	3,9	4,3	4,1	3,4	3,1	2,9
20	3,7	4,4	4,6	4,7	4,9	5,4	5,2	4,4	4,0	3,7
30	4,2	4,9	5,2	5,3	5,5	6,1	6,0	5,0	4,6	4,2
40	4,5	5,2	5,5	5,7	5,8	6,6	6,5	5,4	5,0	4,6
50	4,7	5,5	5,9	6,0	6,2	6,9	6,9	5,8	5,3	4,9
60	4,9	5,7	6,2	6,3	6,4	7,2	7,2	6,1	5,5	5,1
80	5,2	6,1	6,5	6,7	6,9	7,7	7,6	6,5	6,0	5,4
100	5,6	6,4	6,8	7,0	7,2	8,1	8,0	6,8	6,3	5,7
$2 \cdot 10^2$	6,2	7,2	7,7	8,0	8,1	9,2	9,2	7,8	7,2	6,6
$5 \cdot 10^2$	7,2	8,3	8,9	9,2	9,5	10,7	10,6	9,1	8,5	7,8
10^3	7,9	9,1	9,8	10,2	10,4	11,8	11,9	10,2	9,4	8,7
$2 \cdot 10^3$	8,7	9,9	10,7	11,1	11,4	12,9	13,0	11,1	10,3	9,6
$5 \cdot 10^3$	9,7	11,0	12,0	12,4	12,7	14,4	14,6	12,5	11,6	10,8
10^4	10,4	11,8	12,9	13,4	13,7	15,5	15,7	13,5	12,5	11,7
$2 \cdot 10^4$	11,1	12,6	13,7	14,3	14,7	16,6	16,7	14,4	13,4	12,5
$5 \cdot 10^4$	12,1	13,7	14,9	15,6	16,0	18,1	18,3	15,8	14,7	13,7
10^5	12,9	14,5	15,8	16,6	17,0	19,2	19,5	16,8	15,6	14,6
$2 \cdot 10^5$	13,6	15,3	16,8	17,5	17,9	20,3	20,6	17,8	16,6	15,5
$5 \cdot 10^5$	14,6	16,4	18,0	18,7	19,2	21,8	22,1	19,1	17,8	16,7
10^6	15,3	17,3	18,9	19,7	20,2	23,0	23,4	20,2	18,8	17,1
$2 \cdot 10^6$	16,0	18,0	19,6	20,6	21,2	24,1	24,4	21,2	19,7	18,5
$5 \cdot 10^6$	17,0	19,1	21,0	21,9	22,5	25,6	25,9	22,3	20,3	19,5
10^7	17,7	19,9	21,9	22,8	23,4	26,7	27,0	23,5	21,8	20,5



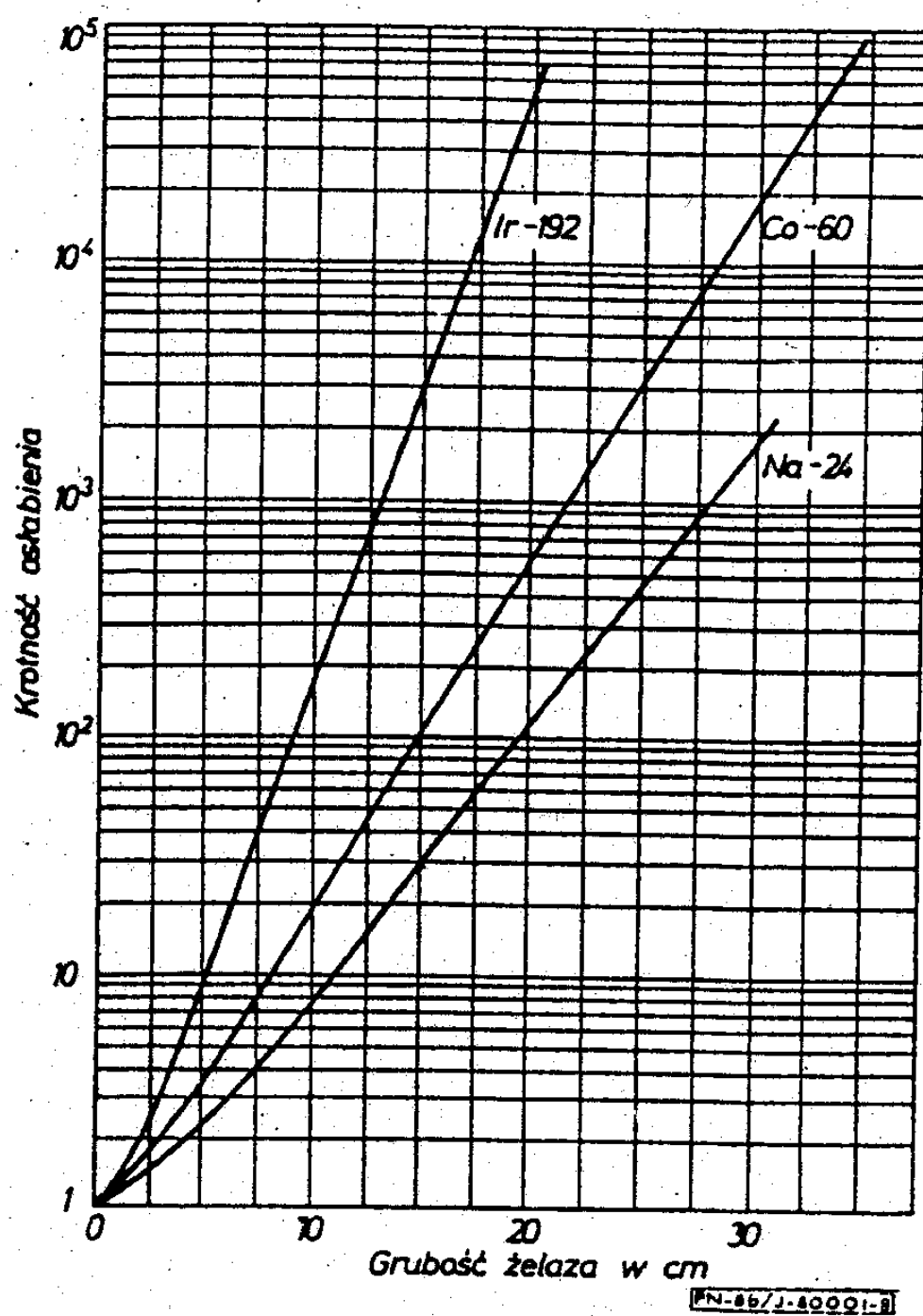
Rys. 16 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **betonu** ($\rho = 2,3 \text{ gcm}^{-3}$)



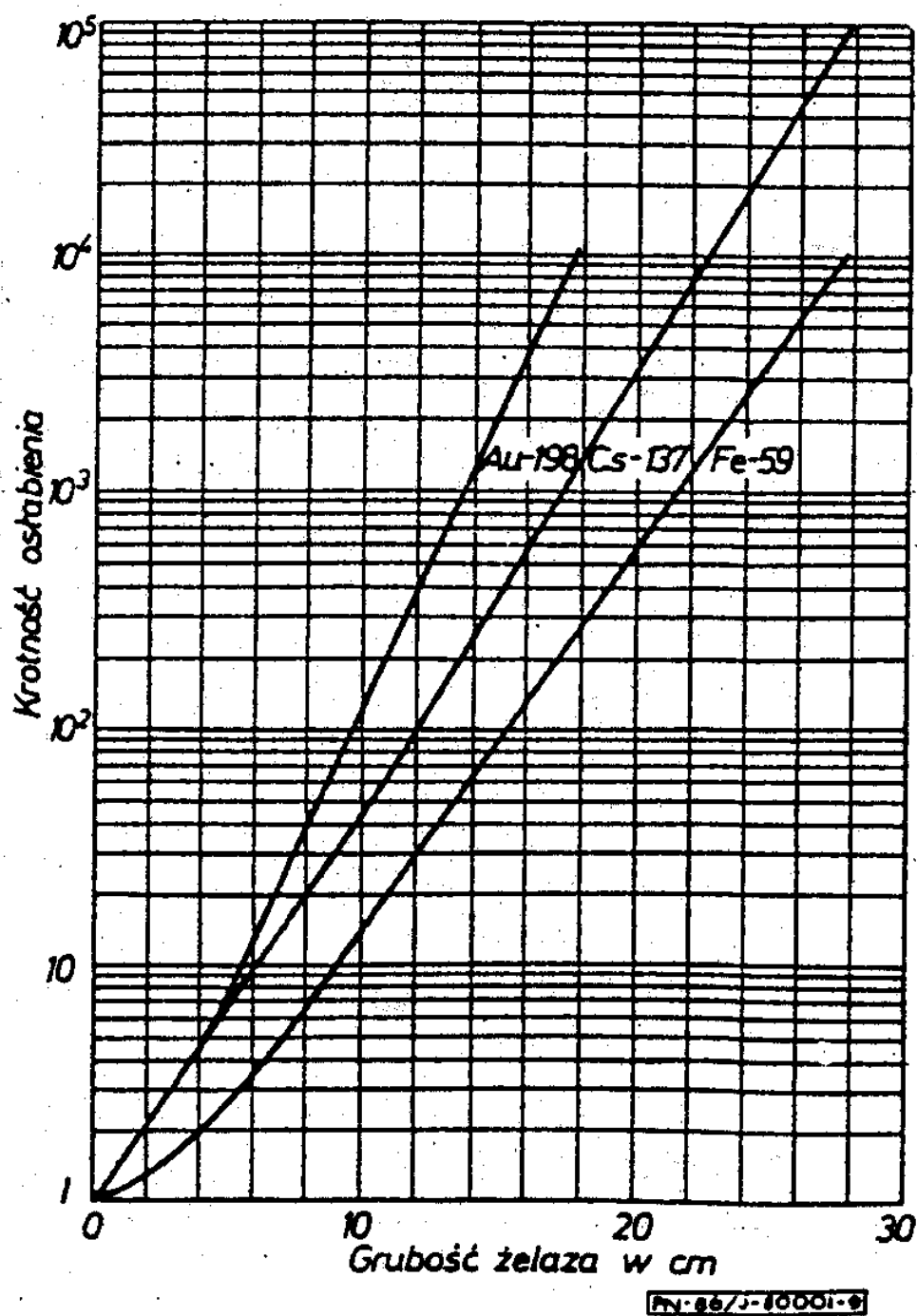
Rys. 17 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **betonu** ($\rho = 2,3 \text{ gcm}^{-3}$)



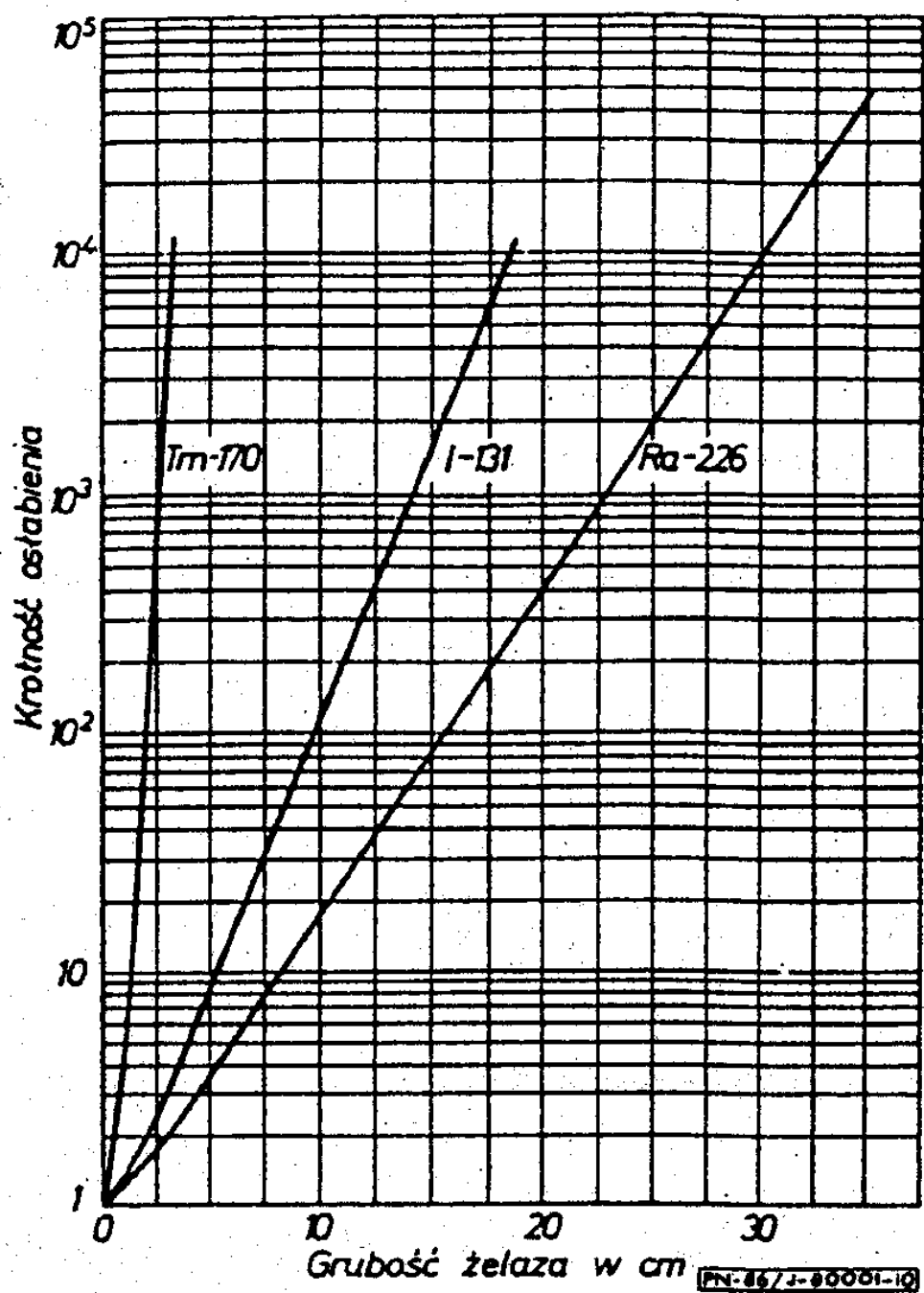
Rys. 18 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **betonu** ($\rho = 2,3 \text{ gcm}^{-3}$)



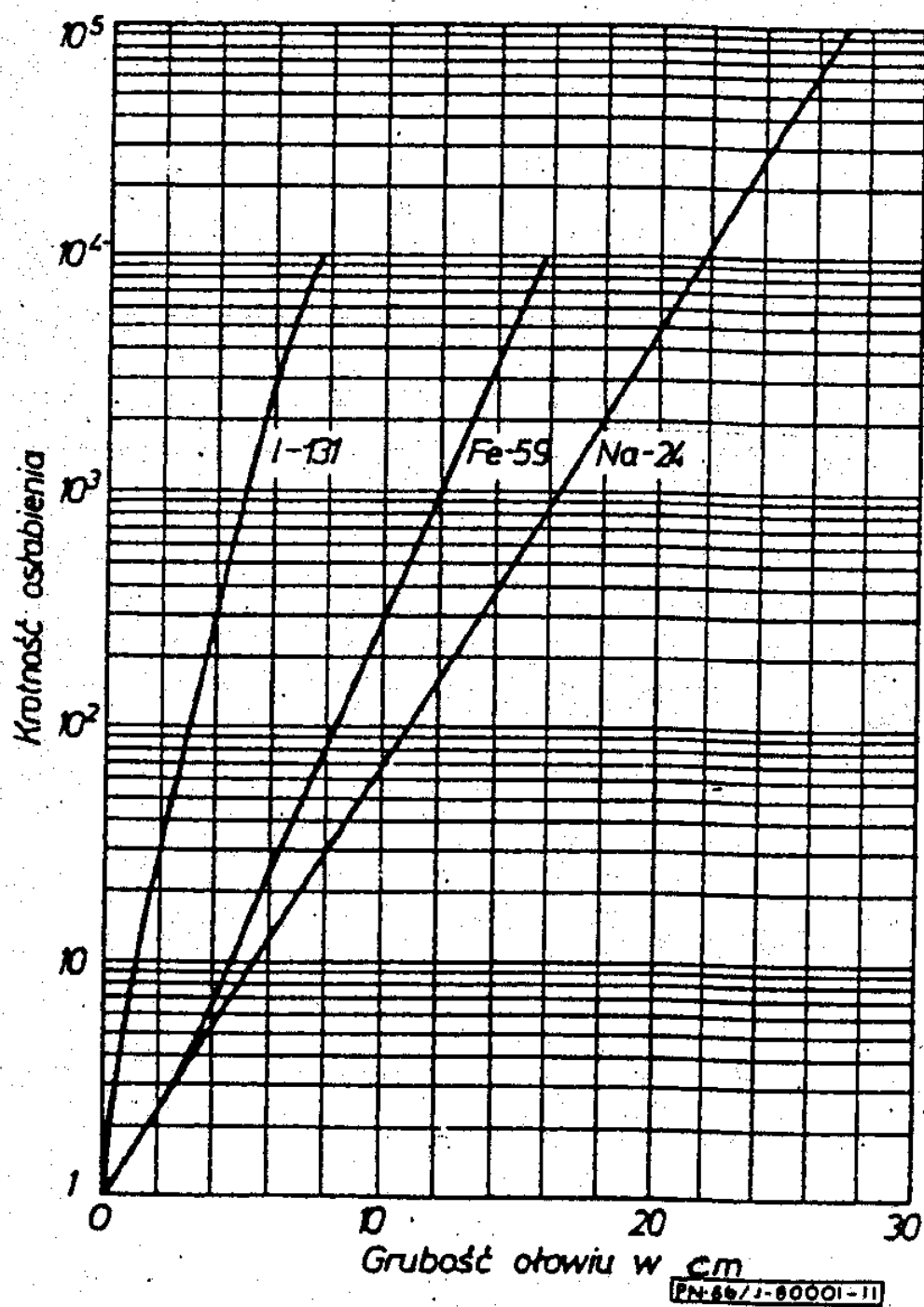
Rys. 19 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **żelaza** ($\rho = 7,9 \text{ gcm}^{-3}$)



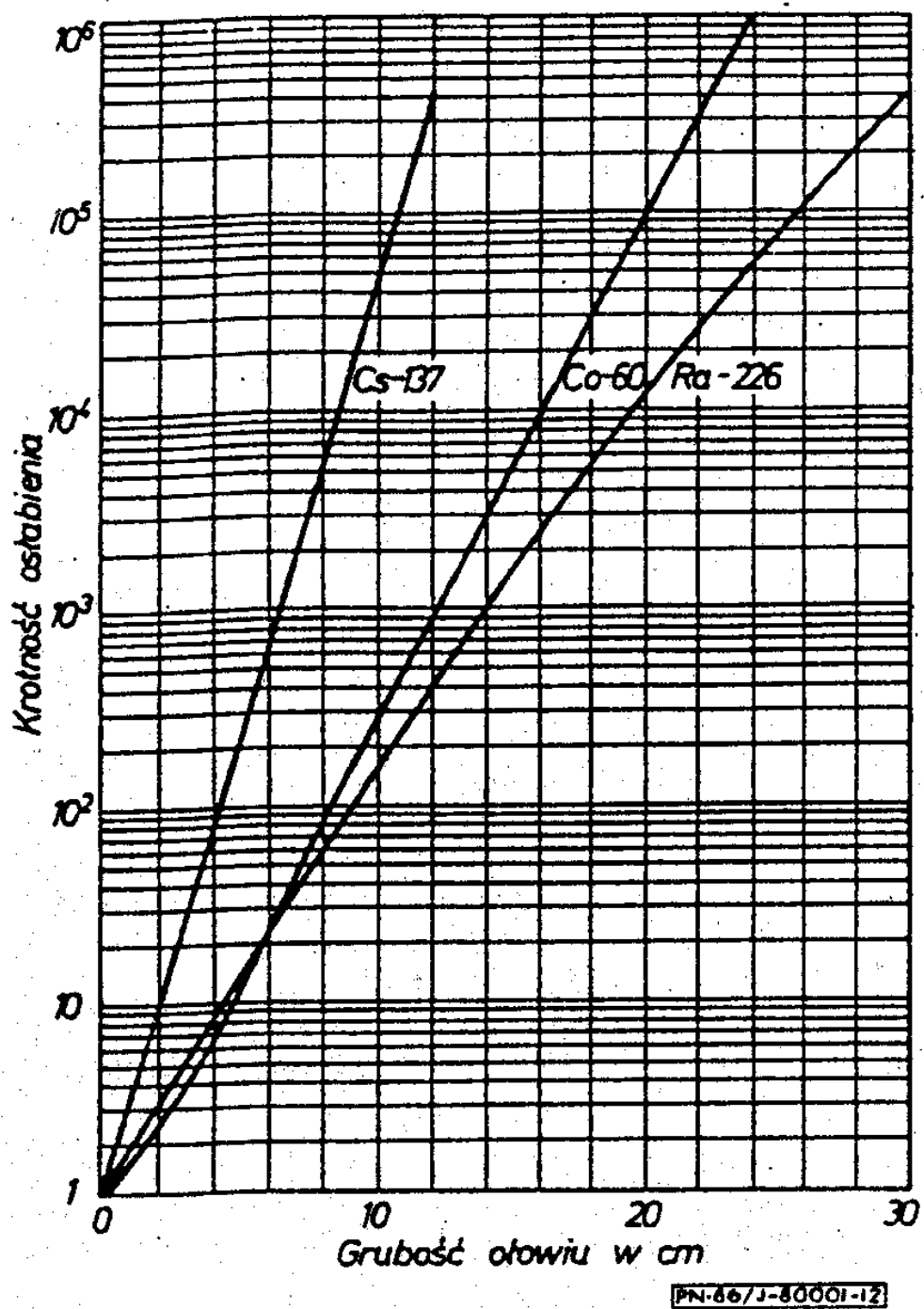
Rys. 20 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **żelaza** ($\rho = 7,9 \text{ gcm}^{-3}$)



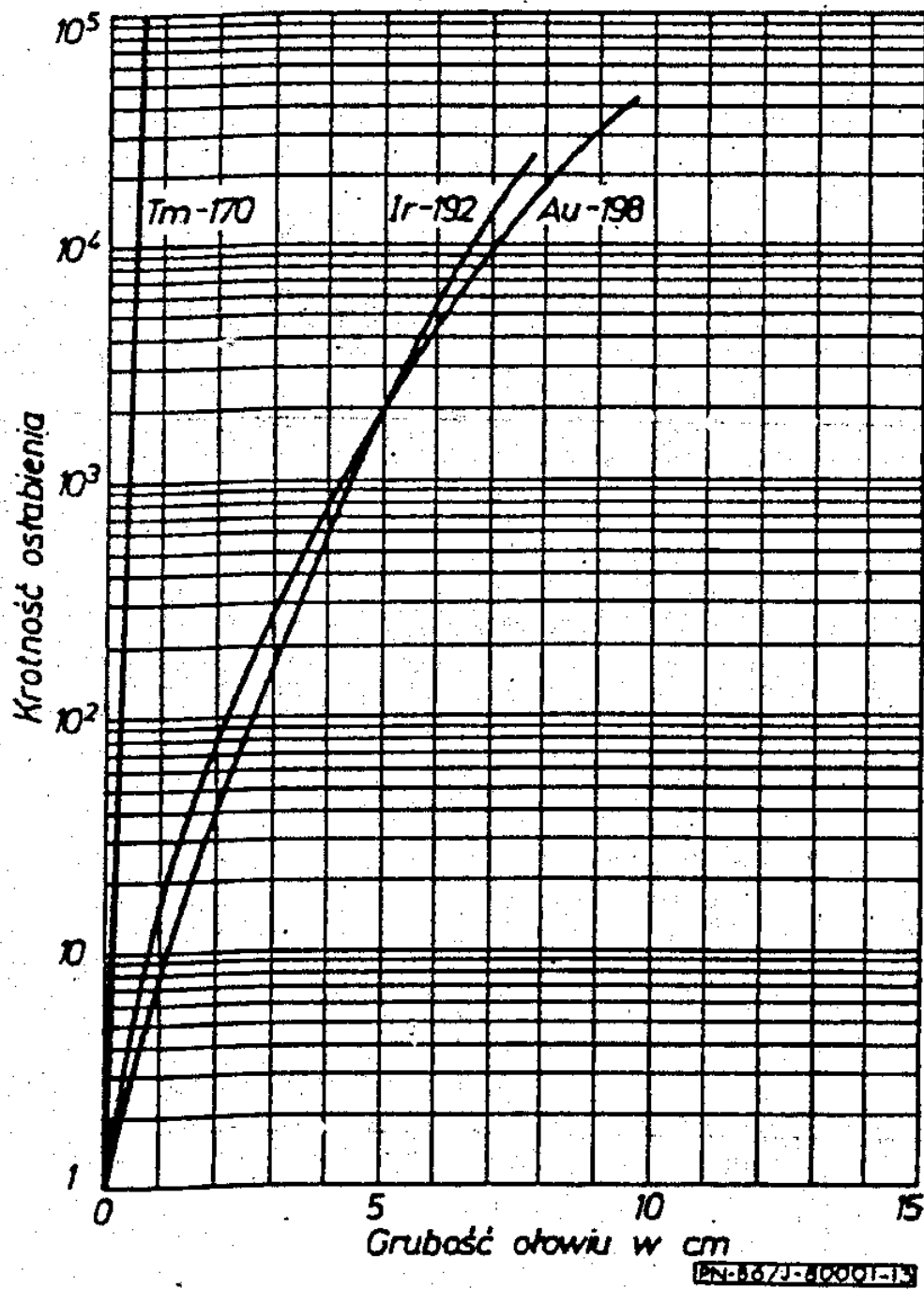
Rys. 21 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy żelaza ($\rho = 7,9 \text{ gcm}^{-3}$)



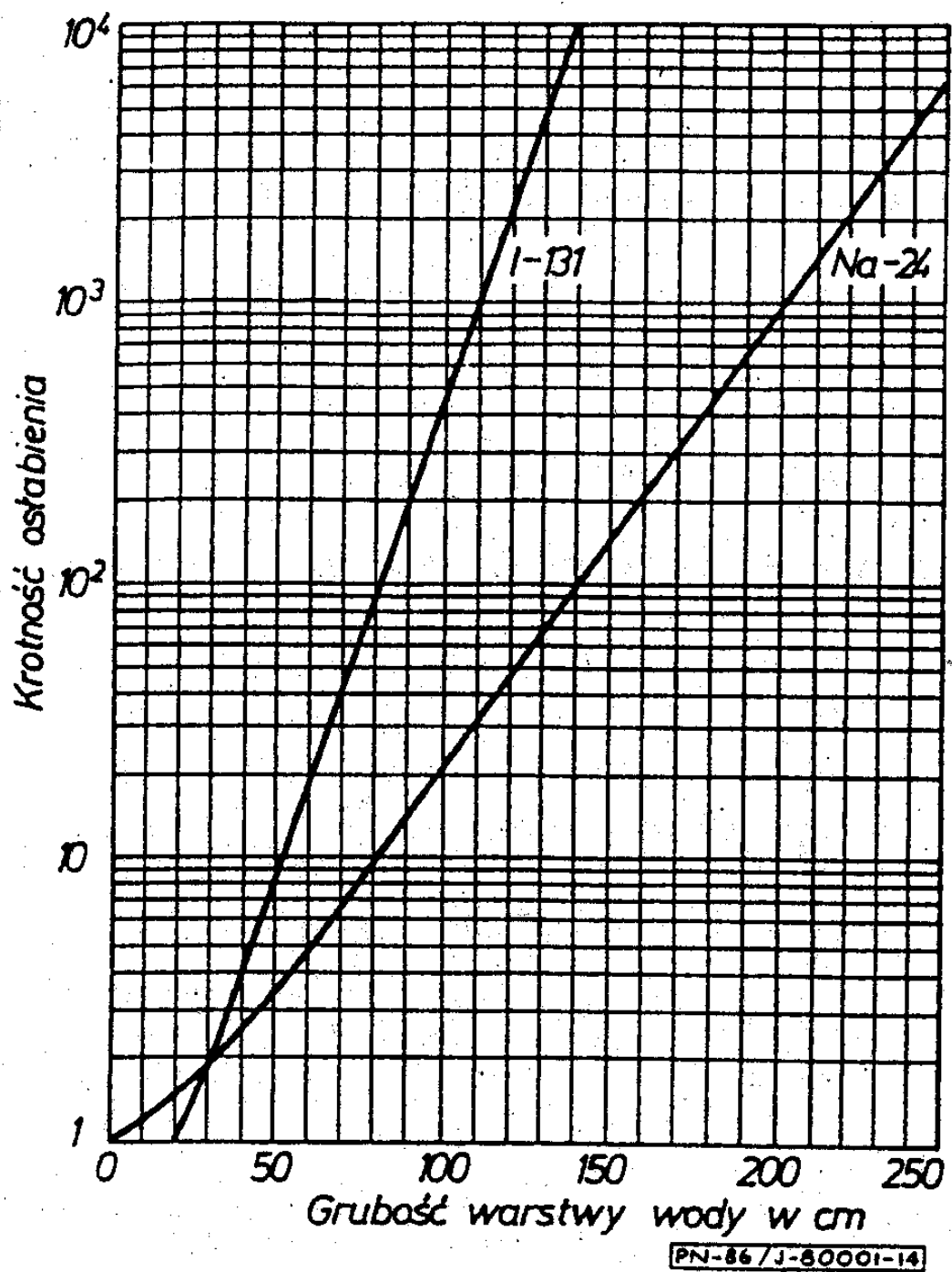
Rys. 22 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy ołowiu ($\rho = 11,3 \text{ gcm}^{-3}$)



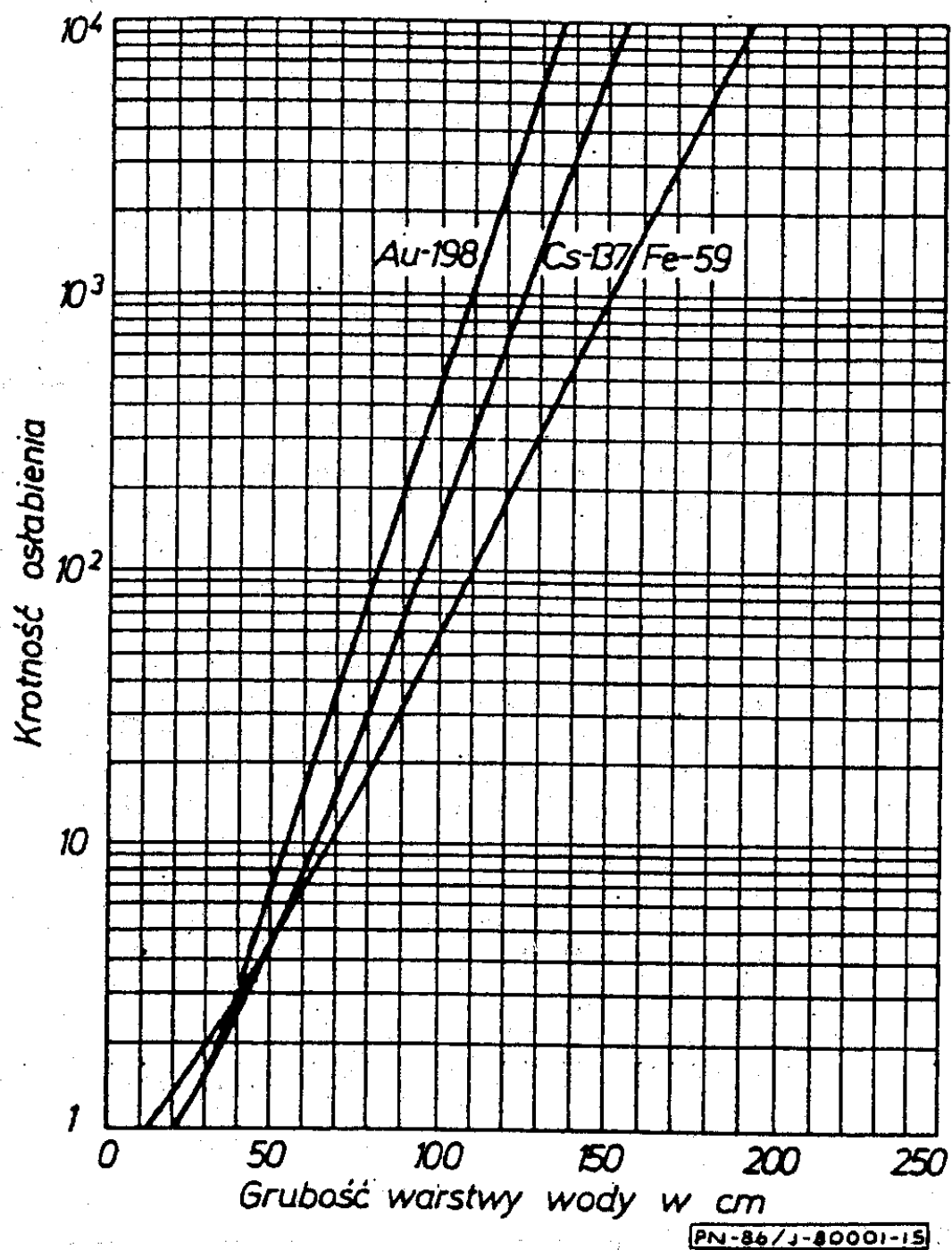
Rys. 23 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **ołowiu** ($\rho = 11,3 \text{ gcm}^{-3}$)



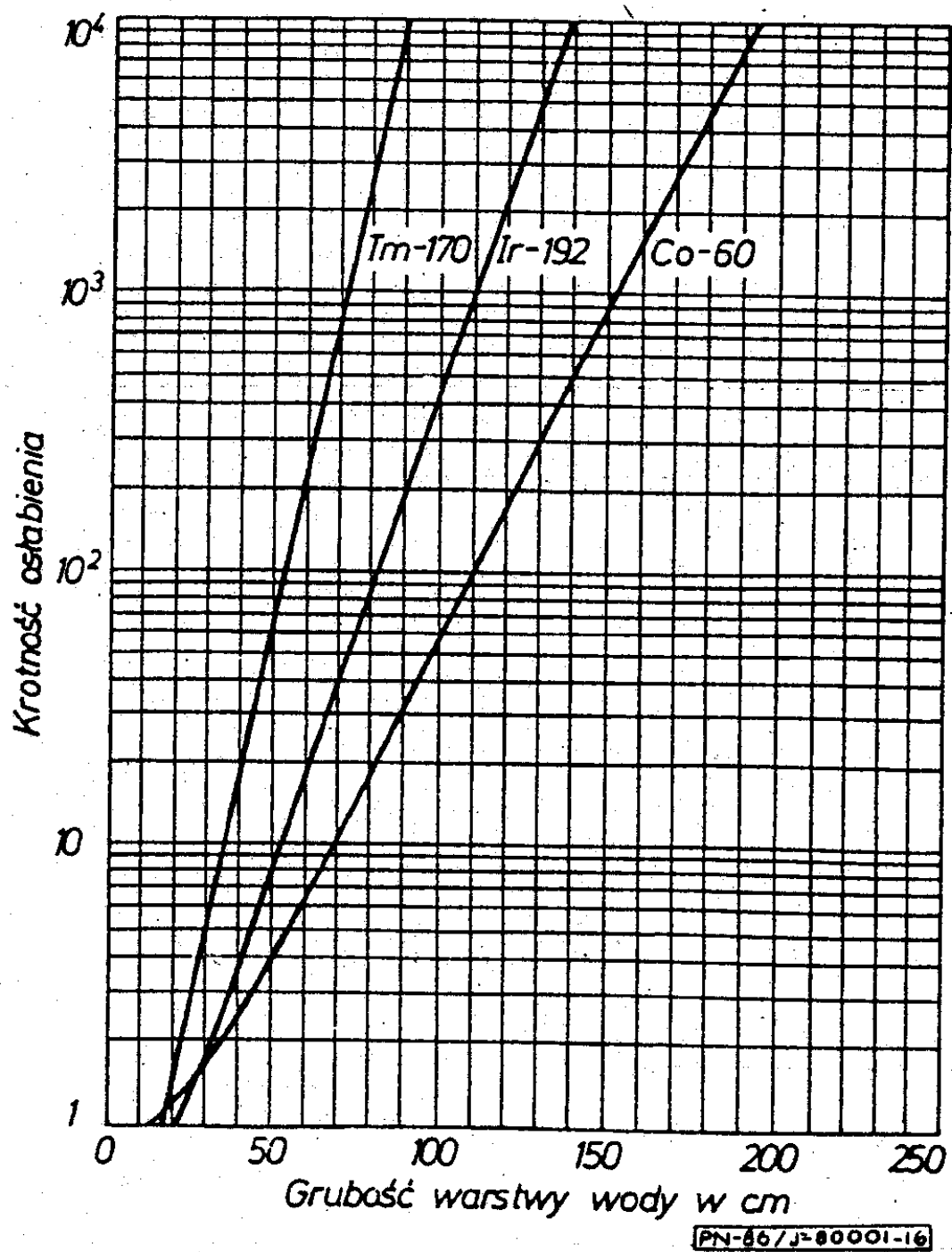
Rys. 24 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **ołowiu** ($\rho = 11,3 \text{ gcm}^{-3}$)



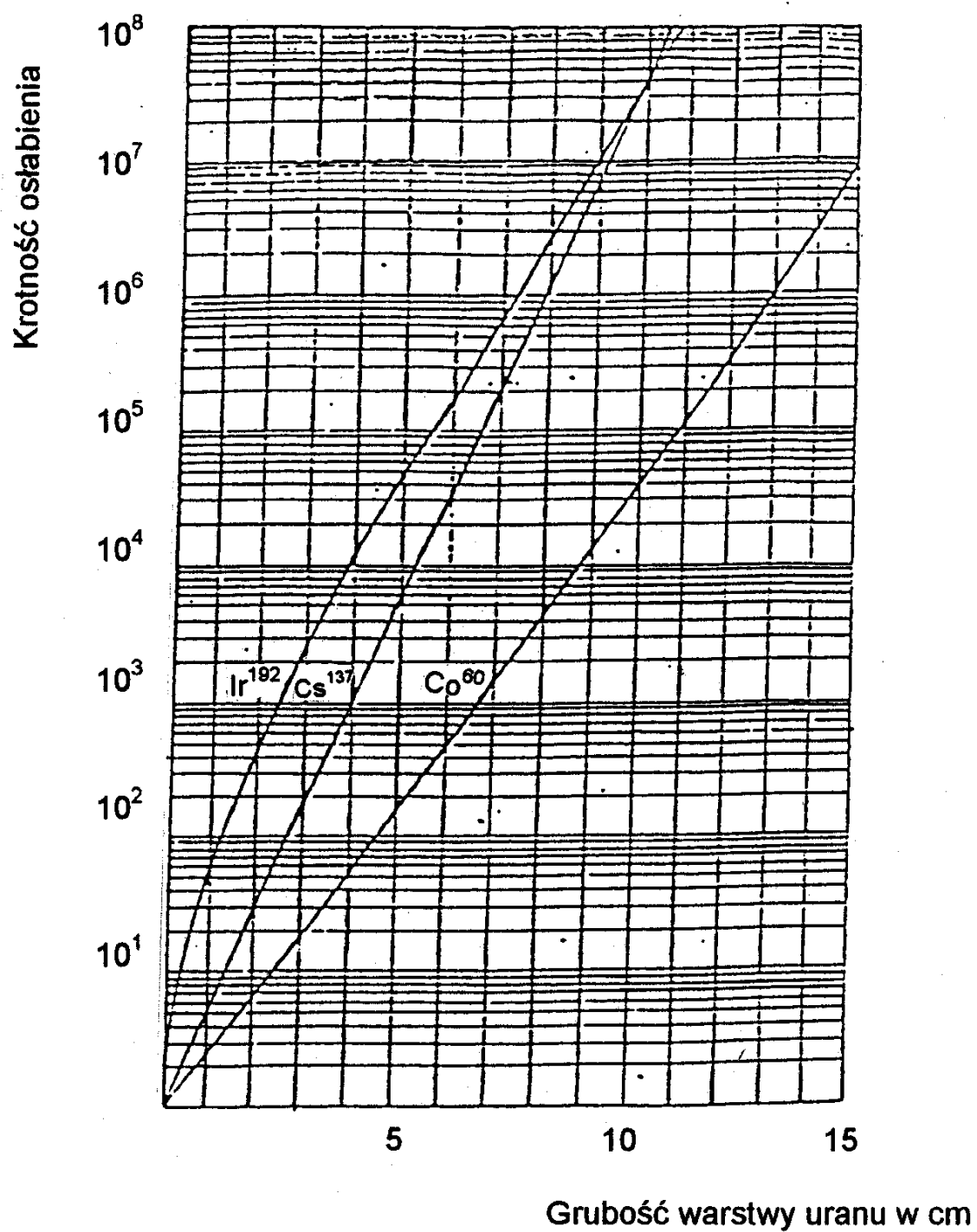
Rys. 25 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy wody ($\rho = 1,0 \text{ gcm}^{-3}$)



Rys. 26 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy wody ($\rho = 1,0 \text{ gcm}^{-3}$)



Rys. 27 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy wody ($\rho = 1,0 \text{ gcm}^{-3}$)



Rys. 28 Zależność krotności osłabienia promieniowania γ od grubości warstwy **uranu zubożonego**