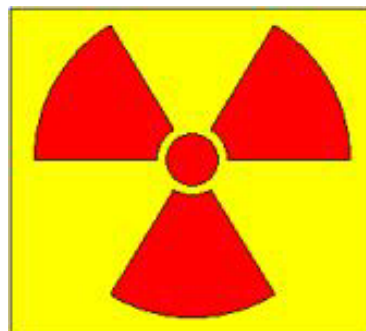


Dozymetria i ochrona radiologiczna

Promieniowanie jonizujące, wykryte niewiele ponad 100 lat temu (w roku 1896) przez Becquerella i badane intensywnie przez naszą rodaczkę Marię Skłodowską-Curie i jej męża Pierre'a, stanowi jedno z bogactw naszej rzeczywistości i może być wykorzystywane zarówno dla dobra jak i szkody człowieka. Istotna różnica pomiędzy promieniowaniem jonizującym a innymi rodzajami promieniowania polega na tym, że człowiek nie jest wyposażony w zmysł umożliwiający bezpośrednie wykrycie tego promieniowania, podczas gdy reaguje na światło, ciepło, smak czy zapach.



Dlatego tak ważną jest umiejętność detekcji różnych typów promieniowania jonizującego oraz oceny jego intensywności i wpływu na organizmy żywe.

4.1 Podstawowe wielkości i jednostki dozymetryczne

Aktywność źródła promieniotwórczego określamy jako liczbę rozpadów promieniotwórczych zachodzących w jednostce czasu. Jednostką aktywności w układzie SI jest *bekkerel (Bq)* zdefiniowany jako

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ rozpad} / \text{s} \quad (4.1.1)$$

Dla różnorodnych praktycznych zastosowań określa się też **aktywność właściwą**, którą jest aktywność jednostki masy, objętości albo powierzchni danej substancji promieniotwórczej. Aktywność właściwą określa się więc w Bq/kg , Bq/m^3 albo w Bq/m^2 .

Jednostką wprowadzoną wcześniej, ale wciąż używaną, jest *kiur (Ci)* określony jako

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ rozpadow} / \text{s} \quad (4.1.1a)$$

co stanowi w przybliżeniu aktywność 1g radu. (Nietrudno odgadnąć związki tej jednostki z nazwiskiem i działalnością Marii i Pierre'a Curie.)

Średnia dawka pochłonięta (D)

Z punktu widzenia skutków oddziaływania promieniowania na obiekty materialne ważną jest ilość energii wydzielana w danym materiale wskutek napromienienia. Ważne jest również w jakiej objętości, a częściej - w jakiej masie energia ta wydzielona została. Dlatego średnia dawka pochłonięta (D) określona jest jako energia E wydzielona w jednostce masy danego materiału tj.

$$D = \frac{E}{m} \quad (4.1.2)$$

gdzie m jest masą substancji w której wydzieliła się energia E .

Jednostką średniej dawki pochłoniętej jest jeden **grej (Gy)** określony jako

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \approx 6.24 \cdot 10^{12} \text{ MeV/kg} \quad (4.1.3)$$

tzn. kiedy energia jednego dżula została zaabsorbowana w masie jednego kilograma. Często użyteczne jest też, podane wyżej, wyrażenie tej jednostki w megaelektronowoltach na kilogram.

Wcześniej zdefiniowaną i używaną jeszcze jednostką jest

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 0.01 \text{ Gy} \quad (4.1.3a)$$

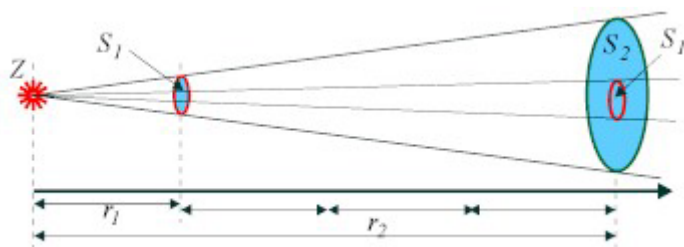
Moc dawki

Ważne jest również w jakim czasie określona dawka została pochłonięta. Zależność tę wyraża moc dawki \dot{D} zdefiniowana jako dawka pochłonięta w jednostce czasu

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (4.1.4)$$

Moc dawki może być wyrażona np. w grejach na rok (**Gy/a**), w grejach na godzinę (**Gy/h**) itd.

Przy pracy z punktowymi źródłami promieniotwórczymi bardzo ważne jest pamiętać, że intensywność promieniowania zmniejsza się z odległością r od źródła jak $1/r^2$. Jest to prostą konsekwencją faktu, że źródło punktowe emituje w dany kąt bryłowy daną liczbę cząstek na jednostkę czasu.



Ilustruje to rysunek obok. Pamiętając, że kąt bryłowy ω , to stosunek powierzchni S widzianej z punktu źródła do kwadratu odległości tej powierzchni od źródła, $\omega = S/r^2$, otrzymujemy dla stałej powierzchni S zmniejszenie się kąta bryłowego z odległością od źródła Z jak $1/r^2$.

Rys 4.1.1 Ilustracja zależności $1/r^2$. Przy czterokrotnym wzroście odległości kąt bryłowy odpowiadający stałej powierzchni S_1 maleje szesnastokrotnie.

Pamiętajmy o tym przy przenoszeniu źródeł i ich przechowywaniu - zawsze w jak największej odległości od obiektów, które chcemy chronić przed promieniowaniem.

Przykłady: Wyznaczamy moc dawki dla materiału znajdującego się w odległości r od źródła o aktywności A emitującego fotony o energii E_γ . W tym celu:

1. Określamy liczbę fotonów N , jaka pada w czasie dt na powierzchnię S napromienianego materiału położoną w odległości r od źródła:

$$N = A \cdot dt \cdot \frac{S}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (4.1.5)$$

gdzie $A \cdot dt$ jest liczbą fotonów emitowanych w czasie dt ze źródła we wszystkich kierunkach wskutek zachodzących w nim przemian promieniotwórczych związanych z emisją fotonów, zaś wyrażenie ułamkowe określa jaką część pełnego kąta bryłowego stanowi kąt bryłowy odpowiadający powierzchni S widzianej z odległości r .

2. Określamy jaka energia jest w rezultacie pochłaniana w warstwie o grubości dr :

$$dE_\gamma = N \cdot E_\gamma \cdot \mu_{\lambda,a}(E_\gamma) \cdot dr = \frac{A \cdot dt \cdot E_\gamma \cdot \mu_{\lambda,a}(E_\gamma)}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \frac{dV}{S \cdot dr} \quad (4.1.6)$$

gdzie $\mu_{\lambda,a}(E_\gamma)$ jest liniowym (index λ) współczynnikiem absorpcji (indeks a) fotonów o energii E_γ . Widzimy również, że pochłaniana energia jest proporcjonalna do objętości materiału $dV = S \cdot dr$. Masa substancji dm zawarta w tej objętości równa jest $dm = dV \cdot \rho = S \cdot dr \cdot \rho$, gdzie ρ jest gęstością napromienianego materiału.

3. Określamy dawkę pochłoniętą jako energię zaabsorbowaną w jednostkę objętości materiału, czyli mamy

$$dD = \frac{dE}{dm} = \left(\frac{A \cdot dt \cdot E_\gamma \cdot \mu_{\lambda,a}(E_\gamma)}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot S \cdot dr \right) / (S \cdot dr \cdot \rho) = \frac{A \cdot dt \cdot E_\gamma \cdot \mu_{\lambda,a}(E_\gamma)}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \rho} \quad (4.1.7)$$

Zauważamy, że $\mu_{\lambda,a}(E_\gamma) / \rho = \mu_{d,a}(E_\gamma)$, to **masowy** współczynnik absorpcji fotonów o energii E_γ w materiale o gęstości ρ .

4. Określamy moc dawki jako dawkę pochłoniętą w jednostce czasu otrzymując

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} = \frac{A \cdot E_\gamma \cdot \mu_{d,a}(E_\gamma)}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (4.1.8)$$

Widzimy, że moc dawki jest proporcjonalna do aktywności źródła, energii fotonów i masowego współczynnika ich absorpcji, zaś odwrotnie proporcjonalna jest do odległości materiału od źródła. Wartości masowych współczynników absorpcji dla aluminium i ołowiu podane są na wykresach zamieszczonych w segmencie poświęconym oddziaływaniu fotonów z materią.

Moc dawki wewnątrz chmury radioaktywnej o stałym stężeniu aktywności a_m , tj. aktywności przypadającej na jednostkę masy, może być określona prostym wzorem

$$\dot{D} = a_m \cdot \bar{E}_\gamma \quad (4.1.9)$$

gdzie \bar{E}_γ jest średnią energią fotonów emitowanych przez substancje promieniotwórcze obecne w chmurze radioaktywnej. Oznacza to, że cała energia fotonów przypadająca na jednostkę masy jest zaabsorbowana. Zakładamy tu, że masowe współczynniki absorpcji w powietrzu i w napromienianym obiekcie są takie same, co z niezłym przybliżeniem spełnione jest dla tkanki miękkiej i dla dużego zakresu energii fotonów. Zakładamy też, że rozmiary chmury są na tyle duże, że nie odgrywają rolę efekty brzegowe i tj. promień chmury jest większy od średniej drogi swobodnej fotonu. Dla fotonów o energii 1MeV średnia droga swobodna wynosi ok. 130m . Podobne zależności mamy dla przypadku źródeł wewnętrznych emitujących promieniowanie alfa lub beta, bowiem ze względu na krótki zasięg tych cząstek w materii, cała ich energia zostaje zaabsorbowana.

Ekspozycja lub dawka ekspozycyjna (X)

Stosowanym w dozymetrii pojęciem jest też ekspozycja lub dawka ekspozycyjna (X). W tym przypadku określa się nie energię zdeponowaną w materii ale ładunek jonów, wytworzonych wskutek oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego (promieni: rentgena lub gamma) w jednostce masy materii.

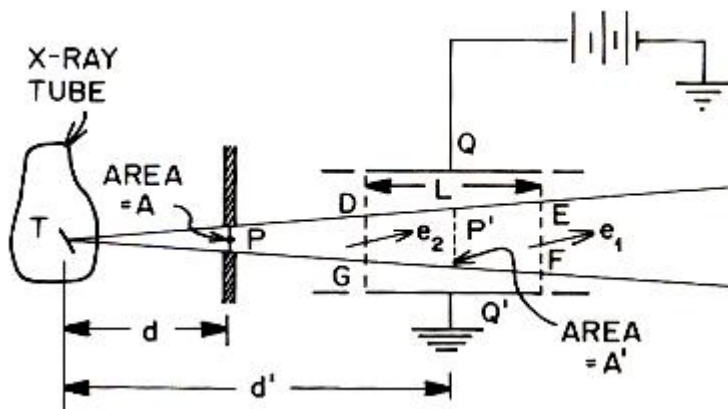
$$X = \frac{Q}{m} \quad (4.1.10)$$

gdzie Q jest ładunkiem wytworzonym w masie m napromienionego materiału. Jednostką ekspozycji jest jednostka ładunku (jeden kulomb) wytworzona w jednostce masy (kilogram) czyli 1C/kg . Wcześniej stosowaną jednostką był rentgen (1R) zdefiniowany jako taka dawka promieniowania rentgena lub gamma, która w wytwarza w 0.001293 grama powietrza (jest to masa 1cm^3 powietrza w warunkach normalnych) jedną jednostkę elektrostatyczną (esu) jonów obu znaków. Związek pomiędzy oboma jednostkami jest następujący:

$$1\text{R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{C/kg powietrza} \quad (4.1.11)$$

Wielkość wytworzonego ładunku wskutek procesów jonizacji wiąże się ze zdeponowaną w materiale energią, dlatego można określić związek pomiędzy dawką pochłoniętą i ekspozycyjną, biorąc za podstawę średnią energię potrzebną do wytworzenia pary jonów w powietrzu. Wynika z tego, że 1R odpowiada dawce pochłoniętej równej $8.76 \cdot 10^{-3}\text{Gy}$.

Pomiar dawki ekspozycyjnej można zrealizować z pomocą komory jonizacyjnej umieszczonej w wiązce promieniowania rentgenowskiego. Schemat układu pomiarowego pokazany jest na rysunku 4.1.2.



Rys. 4.1.2. Schemat komory jonizacyjnej do pomiaru dawek ekspozycyjnych

Lampa rentgenowska emituje z tarczy T promieniowanie, które przechodzi przez przesłonę P o powierzchni A i wpada do komory jonizacyjnej wypełnionej powietrzem. Elektryki i jony wytworzone wskutek oddziaływania fotonów z atomami powietrza wewnątrz komory zbierane są na elektrodach Q i Q'. Z zależności geometrycznych nietrudno jest określić objętość komory w której następuje propagacja promieniowania czyli fragment stożka określony na rysunku punktami DEFG. Masa powietrza w tej objętości może być określona wzorem $M = \rho \cdot A' \cdot L$ gdzie ρ jest gęstością powietrza, A' - polem przekroju poprzecznego wiązki w środku komory, a L jest długością komory.

Praktyczna realizacja takiego pomiaru napotyka na pewne trudności, bowiem część ładunków oznaczona e_1 "ucieka" z obszaru komory i nie jest zebrana przez układ elektrod Q i Q'. Z drugiej strony, ładunki generowane na zewnątrz komory mogą przeniknąć do wewnątrz. Efekt ten wymaga starannego doboru układu geometrycznego pomiaru przy którym następuje kompensacja obu efektów. Kiedy na elektrodach zebrany został ładunek Q, to wartość dawki ekspozycyjnej może być wyznaczona na podstawie pomiarów zgodnie z definicją tj.

$$X = \frac{Q}{m} = \frac{Q}{\rho \cdot A' \cdot L} \quad (4.1.12)$$

Kerma

Cząstki nienaładowane, np. neutrony, nie powodują jonizacji, ale w wyniku ich oddziaływania z materią pojawiają się cząstki naładowane wskutek odrzutu w reakcjach rozprożeń elastycznych bądź emitowane jako produkty reakcji jądrowych wywołanych przez cząstki nienaładowane. Dotyczy to także fotonów, które rejestrowane są za pośrednictwem elektronów uwalnianych w którymś z procesów oddziaływania fotonów z materią. Zjawiska wtórnej jonizacji przy obliczaniu dawek pochodzących od cząstek nienaładowanych uwzględnia wielkość zwana **kerma** (**K**). Nazwa pochodzi od angielskiego sformułowania "Kinetic Energy Released in unit Mass". Wielkość ta określona jest jako

$$K = \frac{dE}{dm}, \quad (4.1.13)$$

gdzie dE jest sumą początkowych energii kinetycznych wszystkich cząstek naładowanych, które uwolnione zostały wskutek oddziaływania cząstek nienaładowanych w małym elemencie materii o masie dm . Jednostką kermy jest także jeden dżul na kilogram czyli 1Gy . Zwróćmy uwagę, że wartość dawki pochłoniętej może być mniejsza od kermy, bowiem energia zdeponowana w materiale może być mniejsza od wspomnianej sumy początkowych energii cząstek naładowanych. Dla przykładu, elektrony przechodząc przez materię zarówno wywołują jonizację jak i emisję promieniowania hamowania, które może opuścić materiał nie deponując tam swej energii.

Zmiana aktywności w czasie

W dotychczasowych naszych rozważaniach zakładaliśmy, że aktywność źródła można uznać za stałą w rozważanych przedziałach czasu. Często nie jest to spełnione i wówczas musimy brać pod uwagę zmianę w czasie aktywności źródła. Zgodnie z prawem rozpadu promieniotwórczego, zależność aktywności źródła promieniotwórczego od czasu ma postać

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-t/\tau} = A_0 \cdot e^{-(\ln 2)t/T}, \quad (4.1.14)$$

Na ogół znamy wartość okresu połowicznego zaniku źródła T . Zapiszmy więc dla przykładu wzór na całkowitą dawkę pochłoniętą wskutek rozpadu źródła promieniotwórczego, jeśli początkowa moc dawki wynosiła \dot{D} .

$$D = \dot{D}_0 \cdot \int_0^{\infty} e^{-(\ln 2)t/T} dt = \frac{1}{\ln 2} \cdot \dot{D}_0 \cdot T = 1.443 \cdot \dot{D}_0 \cdot T, \quad (4.1.15)$$

4.2. Biologiczne skutki promieniowania

Oddziaływanie promieniowania na układy biologiczne prowadzi do zmiany ich struktury komórkowej. Zmiany te mogą prowadzić do modyfikacji lub śmierci komórki, w szczególności gdy uszkodzeniu ulegnie struktura DNA. Klonowanie zmodyfikowanych komórek może prowadzić do powstania nowotworu. W organizmie istnieją mechanizmy naprawy uszkodzonych komórek, pojawia się więc relacja pomiędzy wielkością dawki pochłoniętej na jednostkę czasu a końcowym skutkiem napromienienia. Także różne typy komórek są w różny sposób wrażliwe na promieniowanie jonizujące. Do określenia skutków biologicznych napromienienia nie wystarczy więc znajomość dawki pochłoniętej.

Zależność skutków biologicznych od typu i energii promieniowania określa dawka równoważna H , którą można zapisać w formie

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{TR} \quad (4.2.1)$$

gdzie indeks T odnosi się do danej tkanki, a indeks R do promieniowania danego typu i danej energii. Przez w_R oznaczony jest tzw. czynnik wagowy promieniowania, zaś D_{TR} jest średnią dawką promieniowania danego typu i energii pochłoniętego przez daną tkankę.

Typ promieniowania	Energia, E (MeV)	w_R
Fotony	wszystkie energie	1
Elektrony i miony	wszystkie energie	1
Neutrony	$E < 0.01$	5
"	$0.01 < E < 0.1$	10
"	$0.1 < E < 2$	20
"	$2 < E < 20$	10
"	$E > 20$	5
Protony (z wyłączeniem protonów odrzutu)	> 2	5
Cząstki alfa, ciężkie jony	"nierelatywistyczne"	20

Dawce pochłoniętej wyrażonej w Gy odpowiada **dawka równoważna** wyrażona w *siwertach* (Sv). Dla przykładu, dawce pochłoniętej równej $1Gy$ promieniowania gamma odpowiada dawka równoważna równa $1Sv$, ale takiej samej dawce pochłoniętej promieniowania alfa odpowiada dawka równoważna równa $20Sv$.

Zależność skutków biologicznych od rodzaju tkanki wyraża dawka efektywna E określona następująco

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad (4.2.2)$$

gdzie czynnik wagowy w_T odnosi się do danej tkanki. W tabeli poniżej zamieszczone są czynniki wagowe tkanek.

Tkanka lub narząd	w_R
Gruczoły płciowe	0.20
Czerwony szpik kostny	0.12
Jelito grube	0.12
Płuca	0.12
Żołądek	0.12
Pęcherz moczowy	0.05

Gruczoły sutkowe	0.05
Wątroba	0.05
Przełyk	0.05
Tarczyca	0.05
Skóra	0.01
Powierzchnia kości	0.01
Pozostałe	0.05
Całe ciało	1.00

Dla przykładu, dawce efektywnej dla płuc wynoszącej $1mSv$ odpowiada dawka efektywna dla wątroby wynosząca ($1mSv * 0.12 / 0.05 = 2.4mSv$). Kiedy napromienione jest całe ciało, to dawka efektywna równa jest dawce równoważnej. Należy zaznaczyć, że czynniki w_T podane w tabeli powyżej zawierają uśrednione wartości dla obu płci i szerokiego zakresu wieku stanowiąc ogólną informację o zagrożeniu pochodzącym od napromienienia różnych organów i tkanek. W indywidualnych przypadkach mogą być znaczne odstępstwa ryzyka w stosunku do tych uśrednionych oszacowań.

Wprowadza się też pojęcie **dawki obciążającej** jako sumarycznej dawki otrzymanej w ciągu określonego czasu uwzględniającej napromienianie pochodzące od źródeł zewnętrznych i wewnętrznych jak też zmiany w czasie aktywności wchłoniętych źródeł.

Skutki napromienienia

Wyróżnia się dwa typy skutków napromieniania. **Skutki stochastyczne** - to takie, które występują z określonym prawdopodobieństwem, czyli mogą, ale nie muszą wystąpić. Na ogół zakłada się, że prawdopodobieństwo to zależy w sposób liniowy od otrzymanej dawki. Do skutków stochastycznych zalicza się choroby nowotworowe, a także zmiany dziedziczne u potomstwa. Należy tu zauważyć, że określenie tego prawdopodobieństwa jest trudne, a niekiedy dyskusyjne, bowiem ujawnienie się nowotworu może nastąpić ze znacznym opóźnieniem i może być spowodowane różnorodnymi przyczynami, innymi niż otrzymane i mierzone dawki promieniowania. **Skutki deterministyczne** mają miejsce w przypadku otrzymania stosunkowo dużych dawek i stanowią przejściowe lub trwałe uszkodzenia tkanek. W przypadku wysokich dawek może dojść do choroby popromiennej, która może prowadzić do śmierci. Skutki tego typu pojawiają się dla dawek przekraczających $0.5Gy$, chociaż należy pamiętać, że wartość ta może być znacznie mniejsza dla poszczególnych organów (patrz Tabela powyżej).

4.3 Hipoteza liniowa i hormeza radiacyjna

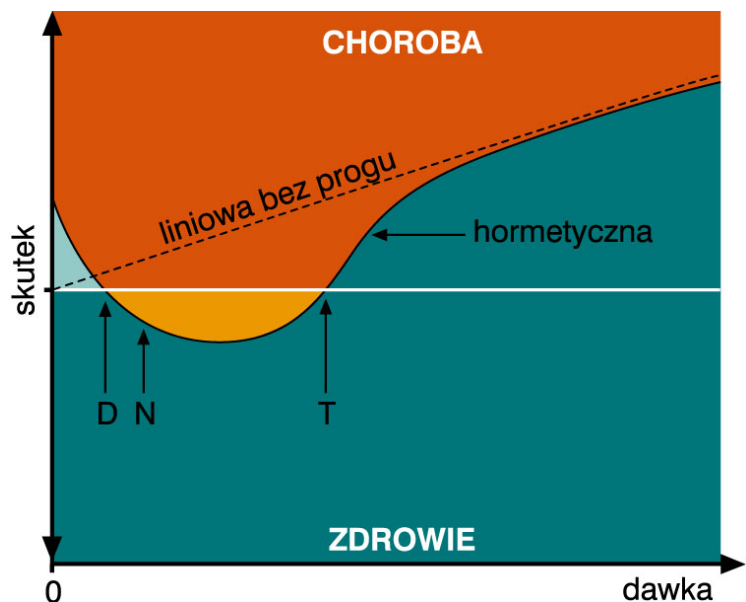
W ochronie radiologicznej przyjmowana jest powszechnie tzw. **hipoteza liniowa**, w myśl której ujemne konsekwencje napromieniania mają charakter zależności liniowej poczynając od najmniejszych dawek, tj. bez progu. Przyjęcie tej hipotezy oznacza potrzebę aktywnej ochrony nawet przed najmniejszymi dawkami promieniowania jonizującego.

Alternatywą jest hipoteza **hormezy radiacyjnej**. Hormeza - to zjawisko w którym czynnik szkodliwy dla organizmu, kiedy aplikowany jest w dużych ilościach, nie szkodzi, a nawet

wywołuje skutki korzystne, kiedy aplikowany w ilościach niewielkich. Jak wiemy, skutki zażywania nadmiernych ilości środków leczniczych mogą być bardzo szkodliwe, podczas gdy stosowane zgodnie z zaleceniami lekarza, przynoszą korzystny dla zdrowia skutek. Prowadzone analizy tego zjawiska dla promieniowania jonizującego pokazują, że zjawisko hormezy ma także miejsce dla małych dawek promieniowania. Osoby napromienione małymi dawkami są bardziej odporne na duże dawki, bowiem wytwarza się u nich system obronny, który zmniejsza ryzyko zachorowań na choroby nowotworowe i prawdopodobieństwa skutków genetycznych.

Każdy na Ziemi otrzymuje określone dawki wskutek promieniowania naturalnego, pochodzącego ze skorupy ziemskiej, atmosfery i kosmosu. Dawki te są różne dla różnych obszarów Ziemi. Prowadzone analizy pokazują, że dawki odpowiadające zjawisku hormezy radiacyjnej są znacznie większe od średnich dawek pochodzenia naturalnego. Dlatego ważne jest prowadzenie dalszych badań mających na celu miarodajne określenie skutków oddziaływania promieniowania na organizmy żywe.

Na Rys.4.3. pokazane są dwie hipotezy wpływu promieniowania jonizującego na organizmy żywe: hipoteza liniowa bez progu oraz hipoteza hermetyczna. Według pierwszej hipotezy, szkodliwy skutek jest możliwy nawet w przypadku najmniejszych dawek, w drugim zaznaczonych jest kilka obszarów. Obszar dawek mniejszych do punktu **D** powoduje objawy niedoboru danego czynnika. Dawki pomiędzy **D** i **T** wpływają pozytywnie na stan zdrowia. Symbolem **N** oznaczona jest średnia dawka, która pochodzi od czynników naturalnych. Dawki większe od **T** powodują skutki szkodliwe

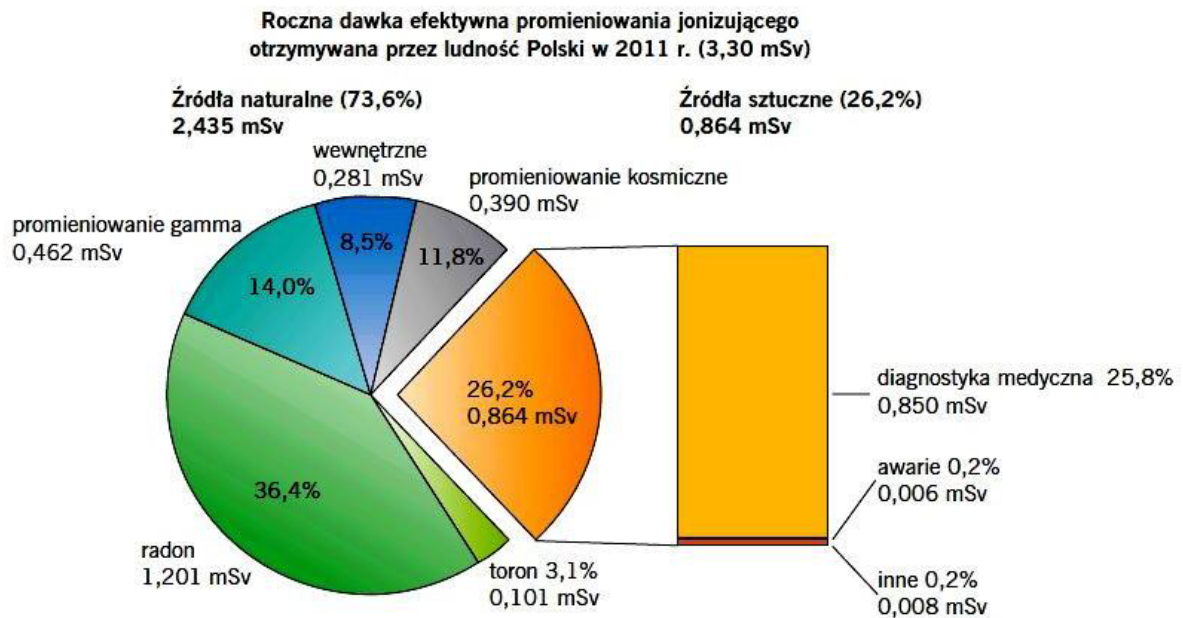


Rys.4.2.3. Dwie hipotezy wpływu promieniowania jonizującego na organizmy żywe: hipoteza liniowa bez progu oraz hipoteza hermetyczna [12] .

Zwróćmy tu uwagę, że według bezprogowej hipotezy liniowej, dawka pochodząca od czynników naturalnych (oznaczona symbolem **N** na wykresie) jest niebezpieczna dla zdrowia. Nie wydaje się to słuszne, bo są obszary na Ziemi (np. w Finlandii), gdzie średnia dawka naturalna jest kilkakrotnie większa niż w Polsce, a średnia wieku życia mieszkańca jest większa niż w naszym kraju. Jest też z oczywistych powodów nierealne, by uchronić się całkowicie przed promieniowaniem naturalnym.

W tym kontekście za optymalną można uznać zasadę **ALARA** (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable) mówiącą, że należy dążyć by dawki były możliwie małe, ale nie należy przekraczać granic zdrowego rozsądku pamiętając, że i tak zawsze jesteśmy w środowisku promieniowania naturalnego, które nam towarzyszy „od zarania dziejów”.

Warto znać wartość dawki, która na rysunku 4.2.3 odpowiada symbolowi **N** dla mieszkańca Polski, Rys.4.2.4. Zgodnie z raportem Państwowej Agencji Atomistyki, dawka otrzymana przez statystycznego Polaka w 2011 roku wyniosła 3.30 mSv (milisiverta). Dla innych lat dawki średnie były podobne. Warto też dodać, że zdecydowana większość tej dawki jest naturalnego pochodzenia, np. 36 % przypada na promieniotwórczy radon, który wdychamy wraz z powietrzem; na drugim miejscu (26%) jest diagnostyka medyczna (prześwietlenia, tomografia itp.)



Rys 4.2.4. Udział różnych źródeł promieniowania w rocznej dawce skutecznej w Polsce [13]

4.4. Bezpieczeństwo radiacyjne Polski

Nad bezpieczeństwem radiacyjnym naszego kraju czuwa [Państwowa Agencja Atomistyki](#).

W Polsce działa bez przerwy kilkanaście stacji monitoringu promieniowania jonizującego rozrzuconych po terytorium kraju, Rys.4.3.1. Agencja prowadzi ewidencję wszelkich źródeł promieniowania jonizującego i materiałów jądrowych, kontroluje placówki, które takich źródeł używają, nadzoruje transport materiałów promieniotwórczych, bada promieniotwórczość podstawowych artykułów spożywczych i produktów żywnościowych, kontroluje dawki od naturalnych radionuklidów w środowisku,



Rys.4.3.1. Po lewej stronie – rozmieszczenie stacji monitoringu radiacyjnego na terenie Polski; po prawej - stacja monitoringu ASS-500 w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Dane rejestrowane przez stacje badane są systematycznie, a w przypadku nadzwyczajnego zagrożenia stacja automatycznie powiadamia osobę odpowiedzialną za monitoring radiologiczny. Jednostką zbiorczą dla sieci monitoringu w Polsce jest Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

4.4. Przykład laboratoryjnej ochrony radiologicznej

Jako przykład ochrony radiologicznej pokażemy konkretne rozwiązania zapewniające bezpieczeństwo radiologiczne pracownikom Laboratorium GANIL we Francji.

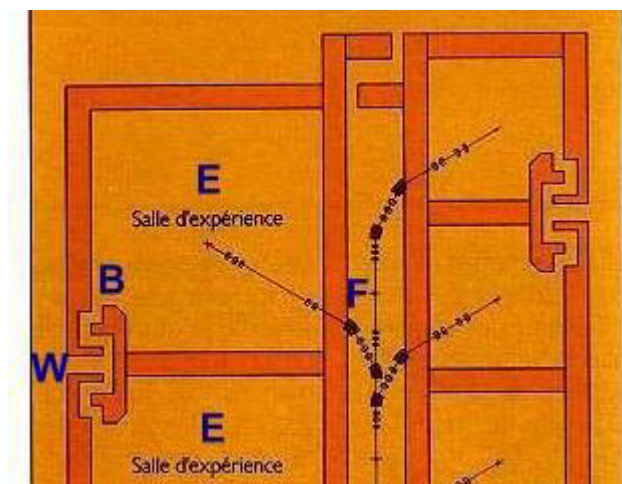
Na Rys 4.4.1 Pokazane jest wyposażenie dozymetryczne pracownika Laboratorium. W skład zestawu wchodzi:

1. Karta „Clematic” umożliwiająca wchodzenie do pomieszczeń laboratoryjnych osobom, które otrzymały do tego uprawnienia.
2. Karta perforowana przypisana imiennie danemu pracownikowi umożliwiająca wchodzenie do pomieszczeń pomiarowych
3. Dozymetr osobisty pracownika



Rys.4.4.1. Wyposażenie dozymetryczne pracownika Laboratorium GANIL

Rys.4.5.6 pokazuje fragment schematu sal pomiarowych w tym laboratorium. Można zaobserwować, że wejścia do sal gdzie jonowodem doprowadzona jest wiązka z akceleratora i gdzie prowadzone są eksperymenty, mają charakterystyczną formę labiryntu. Kształt ten ma za cel osłonięcie przed promieniowaniem osób znajdujących się na zewnątrz sal z równoczesnym zapewnieniem możliwości wejścia do środka osobom przygotowującym aparaturę do pomiarów.



Rys.4.4.2 Fragment schematu sal pomiarowych w Laboratorium GANIL

Jest to równocześnie rodzaj śluzы pozwalającej obsłudze dozymetrycznej kontrolować imiennie które osoby znajdują się danej sali pomiarowej i nie dopuścić, by w nich zajmował się człowiek, kiedy na aparaturę skierowana jest wiązka z akceleratora.

Aby wejść do sali pomiarowej trzeba dać się zidentyfikować przez włożenie swej imiennej karty perforowanej do czytnika. Sprawdzane jest wtedy, czy dana osoba jest uprawniona do pracy w danym, a równocześnie odnotowywany jest fakt wejścia do sali.



Rys 4.4.3. Procedura wejścia do sali pomiarowej w Laboratorium GANIL.

Po włożeniu karty do czytnika drzwi otwierają się automatycznie, jeśli pracownik został przez system zaaprobowany, jako osoba uprawniona. Dalej procedura zapewnia działanie śluzы, uniemożliwiając równocześnie wejście więcej niż jednej osobie. W ten sposób obsługa dozymetryczna wie jakie konkretnie osoby znajdują się w strefie zagrożenia. Po sygnale oznaczającym uruchomienie akceleratora wszystkie osoby muszą opuścić sale pomiarowe. Przebywanie wewnątrz automatycznie blokuje możliwość skierowania do sali wiązki jonów.

Każde laboratorium, gdzie odbywają się pomiary ze źródłami promieniotwórczymi lub wiązkami promieniowania jonizującego posiada swój własny system ochrony przed promieniowaniem, posiada określone normy oraz dawki graniczne, które nie mogą być przekroczone.