

OCHRONA RADIOLOGICZNA W MEDYCZNYCH ZASTOSOWANIACH PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Materiały do samokształcenia w ramach szkolenia okresowego z zakresu ochrony radiologicznej dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące.

Program wg ustawy Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000r. (Dz. U. z 2019 poz. 1792)



WSTĘP

1. Cel szkolenia

Celem szkolenia jest aktualizacja i uzupełnienie wiedzy na temat:

- unikania i minimalizowania narażenia na promieniowanie jonizujące,
- organizacji warunków pracy w sposób zgodny z przepisami i zasadami bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego bezpieczeństwa,
- postępowania w sytuacjach awaryjnych w przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego.

2. Uczestnicy szkolenia

Szkolenie przeznaczone jest dla pracowników komórek organizacyjnych NIO-PIB wykorzystujących w swojej działalności promieniowanie jonizujące, w szczególności zatrudnionych w warunkach narażenia.

3. Sposób organizacji szkolenia

Szkolenie jest zorganizowane w formie samokształcenia – na podstawie szczegółowego programu wg ustawy Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000r. (Dz. U. z 2019 poz. 1792).

Uczestnicy szkolenia otrzymują materiały umożliwiające przyswojenie wiadomości objętych programem szkolenia w postaci:

- skryptu w formie elektronicznej - plik pdf zawierający rozszerzony materiał informacyjny w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

1. Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej

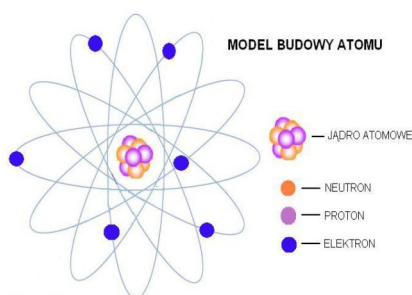
1.1. Zjawisko jonizacji. Budowa atomu i jądra atomowego

Ogólnie pojęcie promieniowania można zdefiniować jako wysyłanie i przenoszenie energii w przestrzeni.

Promieniowanie jonizujące to to strumień cząstek lub fal elektromagnetycznych o energii, która wystarcza do jonizacji materii, przez którą przechodzi. Zjawisko jonizacji polega na oderwaniu od atomu lub cząsteczki co najmniej jednego elektronu. Jonizacja materii może następować w sposób bezpośredni lub pośredni. Jonizacja bezpośrednia polega na wyrywaniu elektronów z atomów wskutek zderzenia, odbywa się głównie na drodze oddziaływania kulombowskiego. Jonizacja pośrednia odbywa się na drodze jednego z trzech efektów: fotoelektrycznego, rozpraszania comptonowskiego i kreacji par elektron-pozyton. Jonizacja pośrednia charakteryzuje się brakiem ładunku elektrycznego.

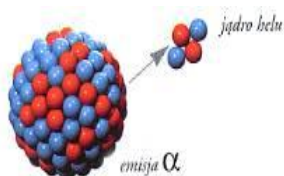
Promieniowanie można podzielić na dwa rodzaje:

- promieniowanie falowe - jest to promieniowanie elektromagnetyczne
- promieniowanie korpuskularne - czyli promieniowanie składające się z cząstek, np. strumień cząstek alfa lub beta.



Atom - podstawowy składnik materii składa się z jądra atomowego i elektronów. Model atomu przypomina układ planetarny. W środku atomu znajduje się maleńkie, dodatnio naładowane jądro, zbudowane z ciężkich cząstek: protonów i neutronów. Elektrony zaś, cząstki ujemne odpowiedzialne za właściwości chemiczne pierwiastka, krążą po orbitach wokół jądra atomu. Praktycznie cała masa atomu skupiona jest w jądrze, które tworzą nukleony, czyli dodatnio naładowane protony i elektrycznie obojętne neutrony. Budowę każdego atomu i jego jądra opisują dwie liczby: liczba atomowa Z i liczba masowa A . Liczba atomowa Z - oznacza liczbę protonów w jądrze i jest równa liczbie elektronów w atomie. Ilość protonów w jądrze determinuje właściwości chemiczne pierwiastka. Jądra atomów tego samego pierwiastka chemicznego zbudowane są z takiej samej liczby protonów (liczba atomowa Z), ale mogą różnić się liczbą neutronów. Atomy z różną liczbą masową (A - suma liczb protonów i neutronów) przy takiej samej liczbie atomowej (Z) nazywamy izotopami. Izotopy mają takie same właściwości chemiczne, ale różnią się właściwościami fizycznymi. Jedną z podstawowych zdolności izotopów, których liczba atomowa mieści się w przedziale od 84 do 92, a więc ciężkie pierwiastki (od polonu do uranu), jest **promieniotwórczość /radioaktywność**. Zjawisko promieniotwórczości polega na samoistnym rozpadzie jąder atomowych na stabilne i mniejsze atomy innych pierwiastków, któremu towarzyszy emisja promieniowania.

1.2. Rodzaje promieniowania jonizującego

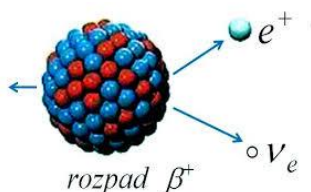


Promieniowanie α to strumień cząstek jąder helu wypromieniowywanych w trakcie rozpadu atomów pierwiastków promieniotwórczych. Jest promieniowaniem:

- korpuskularnym,
- bardzo silnie jonizującym, wywołującym bezpośrednią jonizację ośrodka, przez który przechodzi, a więc groźne przy wchłonięciu,
- słabo przenikliwe,
- silnie pochłaniane przez materię,
- maksymalny zasięg w powietrzu wynosi do 10cm.
- w praktyce, przy narażeniu zewnętrznym, nie ma potrzeby stosowania osłon przed promieniowaniem α .

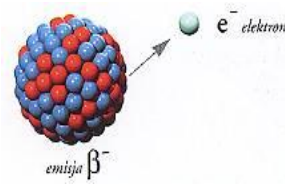
Promieniowanie β jest to strumień pozytonów (β^+) i elektronów (β^-) pochodzących z jąder atomów. Jest to promieniowanie:

- korpuskularne
- widmo energetyczne ciągłe – co wynika z przypadkowego rozdziału energii pomiędzy elektron i neutrino
- jonizujące bezpośrednio
- przenikliwe
- maksymalny zasięg w powietrzu do kilkunastu metrów
- skutecznie pochłaniane przez materiały lekkie np. pleksi.

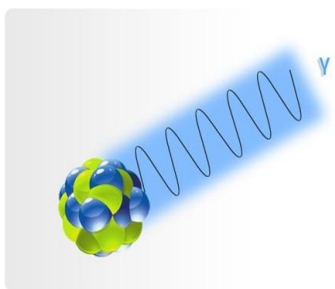


Rozpad beta plus (β^+) typowy dla jąder lekkich oznacza emisję pozytonu, czyli elektronu o dodatnim ładunku elektrycznym i neutrino elektronowego.

Ten rodzaj rozpadu zachodzi w jądrach z przewagą protonów w stosunku do ilości neutronów.



Rozpad beta minus (β^-) to wypromieniowanie elektronu i antyneutrino elektronowego. W wyniku tej przemiany powstaje jądro o niezmięnionej liczbie masowej i o liczbie atomowej wyższej o jeden. Ten typ rozpadu zachodzi w jądrach z nadmierną liczbą neutronów w stosunku do ilości protonów.

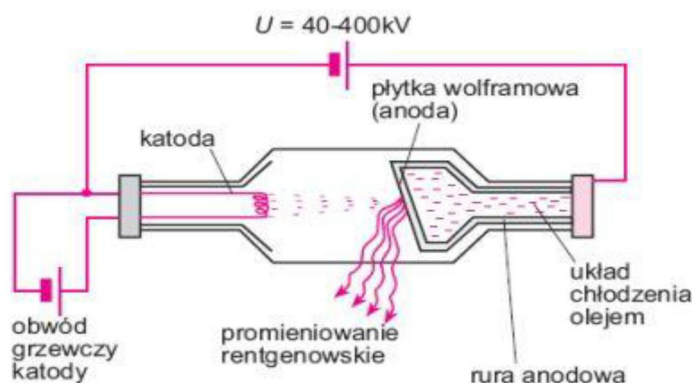


Promieniowanie γ - izotopy promieniotwórcze mogą emitować tylko jeden rodzaj promieniowania np. α lub β , ale mogą też wysyłać nadmiar energii w postaci promieniowania elektromagnetycznego gamma.

- promieniowanie γ nie występuje samodzielnie zwykle towarzyszy mu rozpad α lub β ,
- jest to promieniowanie falowe, tworzą je fotony energii emitowanej w wyniku wyhamowania elektronów promieniowania β w momencie zderzenia z jądrami atomów,
- maksymalne wartości energii promieniowania γ sięgają 6MeV,
- jest to najbardziej przenikliwy rodzaj promieniowania, bardzo energetyczny, jego zasięg w powietrzu może być nieograniczony, bez trudu przenika nawet grube warstwy materiałów,
- w praktycznym stosowaniu promieniowania γ jako ochrony należy używać materiałów ciężkich, o dużej liczbie atomowej (np. ołów, uran).

Promieniowanie X mające zastosowanie w medycynie wytwarzane jest w aparatach rentgenowskich i akceleratorach.

Powstaje np. w lampach rentgenowskich, gdzie elektrony przyspieszane silnym polem elektrycznym uderzają z dużą prędkością w anodę. W wyniku gwałtownego hamowania elektronów na jądrach atomów anody powstaje promieniowanie X. Jest promieniowaniem jonizującym pośrednio, bardzo przenikliwym. Ze względu na długość fali, czyli na energię może być bardziej przenikliwe tzw. promieniowanie twarde i o mniejszej przenikliwości - promieniowanie miękkie.



Promieniowanie neutronowe powstaje w reaktorach jądrowych i akceleratorach, w procesie rozszczepiania ciężkich jąder atomowych. Neutrony to cząstki elektrycznie obojętne, ze względu na brak ładunku elektrycznego nie są odpychane przez jądra, ale mogą być wykorzystywane jako pociski w reakcjach jądrowych. Neutrony można wytwarzać na kilka sposobów, najstarszym z nich jest reakcja jądrowa cząstek α z jądrami izotopu berylu.

Energia wyzwolona w takiej reakcji jest bardzo duża i sięga nawet 200MeV. Neutrony, wyswobodzone z jąder atomowych, tworzą promieniowanie neutronowe. Jest to rodzaj bardzo przenikliwego promieniowania korpuskularnego. Zasięg neutronów w powietrzu jest znaczny, nawet przy energii kilku milielektronowoltów może sięgać rzędu kilometrów. W zależności od energii wyróżnia się grupy neutronów, z których najważniejsze są:

- neutrony prężkie – energie rzędu MeV
- neutrony powolne – energie do kilku eV

1.3. *Pojęcie promieniotwórczości i radioaktywności. Okres półrozpadu pierwiastków*

Źródłem promieniowania pierwiastków jest spontaniczny rozpad atomów. Promieniotwórczość to zdolność jąder atomowych do rozpadu promieniotwórczego **radioaktywność** natomiast, określa intensywność samego procesu promieniotwórczego tzn. aktywność źródła promieniotwórczego. Radioaktywność pierwiastków ma związek z trwałością pierwiastków promieniotwórczych. Im szybciej następuje proces rozpadu tym jest on bardziej promieniotwórczy. Aktywność pierwiastków jest niezależna od czynników zewnętrznych, ma związek z okresem połowicznego rozpadu atomów pierwiastka promieniotwórczego. Aktywność wyrażana jest w Becquerelach (Bq), 1 Bq równa się jednemu rozpadowi promieniotwórczemu na sekundę. Jest to bardzo mała jednostka, dlatego w praktyce używa się większych jednostek będących wielokrotnością bekerela. Dawną jednostką aktywności był jeden kiur (Ci), $1\text{Ci} = 37\text{GBq}$.

1.4. *Promieniotwórczość naturalna i sztuczna*

Promieniotwórczość naturalna jest to proces samorzutnie zachodzący w przyrodzie, bez ingerencji człowieka, na skutek występowania radioaktywnych izotopów pierwiastków w przyrodzie.



Źródła promieniowania naturalnego to m.in. promieniowanie kosmiczne, które dociera do Ziemi z przestrzeni kosmicznej i oddziałuje na całą populację ludzką ze względnie stałym natężeniem. W wyniku reakcji jądrowych powodowanych promieniowaniem kosmicznym powstają radionuklidy promieniotwórcze, stanowiące domieszkę do promieniotwórczego opadu i wchodzące w skład środowiska ziemskiego, w tym także organizmów żywych. Promieniowanie naturalne to również izotopy promieniotwórcze powszechnie występujące w skorupie ziemskiej. Główne składniki promieniotwórcze występujące w glebie, wodach i wewnątrz człowieka to potas (^{40}K) i węgiel (^{14}C). Procentowo stanowią one niewielką dawkę, lecz ich powszechne występowanie powoduje, że człowiek stale wchłania promieniowanie jonizujące na drodze wymiany gazowej, przez skórę, jedzenie i picie.

Przyjmuje się, że naturalne tło promieniowania dla mieszkańców Polski pochodzące od źródeł naturalnych wynosi średnio **2.4 mSv/rok** lub też 168 mSv w ciągu 70 lat.



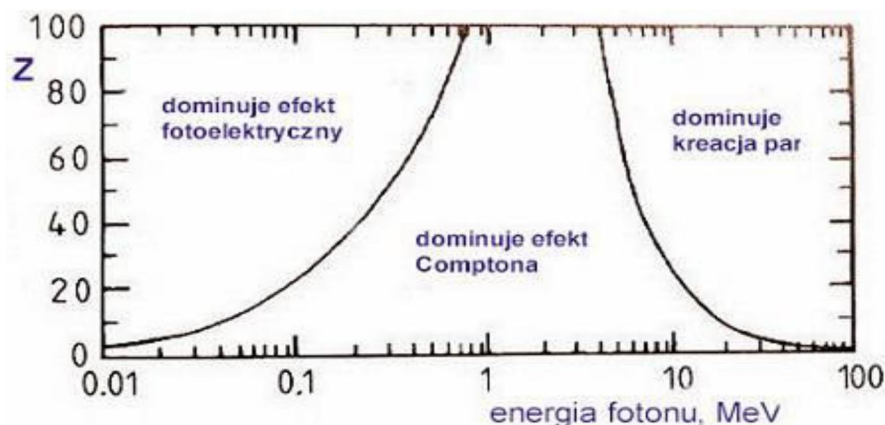
Promieniotwórczość sztuczna uzyskiwana sztucznie w reaktorze jądrowym poprzez napromieniowanie trwałych pierwiastków neutronami lub wskutek „bombardowania” tych pierwiastków cząstkami ciężkimi np. protonami, cząstkami alfa. Z uwagi na zróżnicowane właściwości, takie jak rodzaj promieniowania, energia promieniowania, czas życia, masa emitowanych cząstek, promieniotwórczość sztuczna jest powszechniej stosowana niż naturalne substancje promieniotwórcze. Jest to promieniowanie stosowane w medycynie oraz promieniowane wywołane próbnymi wybuchami jądrowymi i awariami obiektów techniki jądrowej. W wyniku procedur medycznych człowiek w Polsce otrzymuje – **0,8 mSv/rok**.

1.5. Skutki oddziaływania promieniowania jonizującego z materią

Promieniowanie jonizujące zarówno w postaci cząstek jak i fotonów ma zdolność oddziaływania z materią. Jednym z podstawowych zjawisk zachodzących w oddziaływaniu promieniowania z materią jest **zjawisko jonizacji**, w wyniku której powstają swobodne elektrony i dodatnie jony.

W oddziaływaniu promieniowania X i gamma z materią najistotniejsze są trzy zjawiska:

- **efekt fotoelektryczny**,
- **rozproszenie comptonowskie**
- **zjawisko tworzenia par**.



Udział tych mechanizmów w osłabianiu promieniowania jest zależny od energii promieniowania i od materiału, w którym zachodzi proces osłabiania. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne polega na przekazaniu całej energii fotonu elektronowi

swobodnemu lub słabo związanemu (zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne), zachodzi przede wszystkim przy niskich energiach. W zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym foton zanika, a jego energię przejmuje elektron. Efekt Comptona dominuje w oddziaływaniach z materią o energiach wyższych od około 30keV. Rozpraszanie comptonowskie polega na częściowym przekazaniu energii elektronowi przez foton padający. Elektron zyskuje w ten sposób energię kinetyczną, a foton traci tę energię i zmienia kierunek lotu. Zjawisko to zachodzi dla elektronów na wyższych orbitach, czyli słabo związanych z atomami. W wyniku tego procesu powstaje rozproszony foton o niższej energii i elektron.

Zjawisko kreacji par polega na utworzeniu pary cząstek: elektronu i pozytonu z energii fotonu. Zjawisko to zachodzi tylko wtedy, gdy foton posiadający dostatecznie dużą energię (począwszy od energii 1,022MeV) znajdzie się w pobliżu jądra atomu. W polu sił kulombowskich kosztem energii fotonu następuje wykreowanie pary elektron-pozyton. Energia kinetyczna każdej z powstałych cząstek będzie równa połowie różnicy pomiędzy energią fotonu i energią spoczynkową dwóch elektronów.

1.6. Oddziaływanie promieniowania jonizującego na organizm żywy

W procesie oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm żywy występują trzy fazy: fizyczna, chemiczna i biologiczna. W fazie fizycznej zachodzi zjawisko jonizacji i wzbudzenie atomów w organizmie poddanemu działaniu promieniowania. Po niej następuje faza chemiczna, która polega na szybkich reakcjach wewnątrzkomórkowych prowadzących do naprawy uszkodzonych cząsteczek. Cząsteczki te ulegają rozpadowi na skutek promieniowania jonizującego, czyli radiolizie. Powstają wolne rodniki, które muszą zostać zneutralizowane na drodze szybkich reakcji rodnikowych. Wolne rodniki w warunkach biologicznych mogą skutkować uszkodzeniem cząsteczek ważnych dla życia, takich jak DNA i białka. Następująca dalej faza biologiczna polega na naprawie lub próbie naprawy zniszczonych biomolekuł poprzez aktywację różnych procesów komórkowych, ale także na przejściowym lub trwałym zahamowaniu możliwości dzielenia się uszkodzonej komórki oraz na jej stopniowej degradacji. Faza ta może trwać latami.

Konsekwencją oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm jest ryzyko wystąpienia **skutków stochastycznych i deterministycznych**. Pierwsze z nich mają charakter losowy mogą wystąpić z określonym prawdopodobieństwem i nie są zależne od wielkości dawki pochłoniętej. Zwykle nie występują bezpośrednio po ekspozycji, lecz pojawiają się kilka czy nawet kilkadziesiąt lat od momentu napromienienia. Zakłada się, że prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest możliwe już po otrzymaniu nawet małych dawek promieniowania (bezprogowa zależność) i w sposób liniowy zależy od tej dawki tzw. hipoteza LNT. Przykładem efektów stochastycznych jest możliwość indukowania nowotworów i powstawania zmian genetycznych. Nowotwory mogą powstawać wskutek mutacji komórkowych, z kolei mutacje komórek reprodukcyjnych są odpowiedzialne za wady genetyczne potomstwa.

Efekty deterministyczne występują zaraz po napromienieniu organizmu, jest to reakcja związana z otrzymaniem stosunkowo dużych dawek, występuje zwykle bezpośrednio lub w niedługim czasie po ekspozycji. Skutki deterministyczne związane są z przekroczeniem pewnego progu dawki, a ich natężenie jest uzależnione od tego jak bardzo próg ten przekroczono. Przykładem tej reakcji są przejściowe lub trwałe uszkodzenia tkanek, takie jak choroba popromienna, oparzenia, epilacja, rumień popromienny, uszkodzenie wzroku, martwica.

Narządy o **wysokiej** wrażliwości na promieniowanie to narządy limfatyczne (szpik kostny, śledziona), nabłonki wyściełające ściany przewodów np. pokarmowego, moczowego, oddechowego, śródbłónki naczyń krwionośnych, gonady, soczewka oka.

Narządy **średnio** wrażliwe na promieniowanie to skóra, wątroba, serce, płuca, nerki.

Do narządów o **niskiej** wrażliwości należą: mięśnie, kości, tkanka nerwowa i mózgowa.

Tabela nr 1. Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromienienia organizmu

Dawka [Sv]	Skutek biologiczny
0,25	Brak objawów klinicznych. Czasem - niewielkie zmiany we krwi.
0,5	Przemijające zmiany we krwi obwodowej; nikłe prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych.
1-2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany we krwi. Duże prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych. Objawy ustępują po kilku tygodniach.
2-3	Ciężkie objawy kliniczne. Wymioty w ciągu 2 h. Zmiany we krwi; częste następstwa późne. Dawka śmiertelna dla ok.25% napromieniowanych osób.
3-5	Ciężkie objawy kliniczne; ostra choroba popromienna; uszkodzenie czynności krwiotwórczych szpiku. Dawka śmiertelna dla 50% napromieniowanych (LD50/30);
5-7	Przeżywa 0-20% osób. Śmierć następuje w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10-30	Uszkodzenie układu pokarmowego; objawy krwotoczne i odwodnienie organizmu. Śmierć następuje w ciągu kilku do kilkunastu dni.
50 i więcej	Zespół ośrodkowo-mózgowy, zaburzenia świadomości, oddychania i krążenia. Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni.

2. Rodzaje dawek promieniowania. Dawki graniczne.

2.1. Dawka ekspozycyjna

Dawka ekspozycyjna (ekspozycja) – jest to bezwzględna wartość sumy ładunków jonów jednego znaku wyprodukowanych w jednostce masy suchego powietrza, pod wpływem elektromagnetycznego promieniowania X lub γ . Dawka ekspozycyjna charakteryzuje zdolność jonizacji promieniowania w powietrzu i wyraża się wzorem:

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

Jednostką dawki ekspozycyjnej w układzie SI jest kulomb na kilogram [C/kg].

2.2. Dawka pochłonięta

Dawka pochłonięta [D] jest pojęciem typowo fizycznym, charakteryzującym pochłanianie energii promieniowania przez wszystkie ośrodki, w których to promieniowanie się rozchodzi (np., ciało ludzkie, powietrze). Dawka pochłonięta jest to ilość energii (E) pochłoniętej w jednostce masy (m) przez ośrodek:

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

gdzie:

- dE - wydzielona energia
- dm - masa substancji

Jednostką średniej dawki pochłoniętej w układzie SI jest grej [Gy=J/kg].

Moc dawki pochłoniętej [D] określa przyrost dawki pochłoniętej w przedziale czasu (t):

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

Jednostką mocy dawki pochłoniętej jest grej na sekundę [Gy/s], w praktyce częściej używaną jednostką jest grej na godzinę [Gy/h].

2.3. Dawka równoważna

Wartość dawki pochłoniętej jest niewystarczająca do oceny narażenia organizmu po napromienieniu. Konieczne jest uwzględnienie takich czynników jak: rodzaj promieniowania, rozkład dawki w czasie (podana jednorazowo, czy w odstępach czasowych), wielkość obszaru ciała poddanego ekspozycji (dotyczy całego organizmu, czy tylko niektórych organów) oraz narząd lub tkanka, które zostały napromienione itp.

W celu oszacowania narażenia żywego organizmu stosuje się pojęcie **dawki równoważnej** [H_T], czyli dawki pochłoniętej w tkance lub narządzie, wyrażonej wzorem:

$$H_T = W_R D_{TR}$$

gdzie:

- D_{TR} - dawka pochłonięta uśredniona w tkance lub narządzie;
- W_R - czynnik wagowy promieniowania R.

Jednostką dawki równoważnej w układzie SI jest siwert [1Sv], gdzie 1Sv=1J/kg; wyraża ilość energii promieniowania, którą zdeponowała żywa tkanka.

Moc dawki równoważnej [$\dot{H}_T$] jest to stosunek przyrostu dawki równoważnej dH_T w czasie dt , wyrażona wzorem:

$$\dot{H}_T = \frac{dH_T}{dt}$$

Jednostką mocy dawki równoważnej jest siwert na sekundę [Sv/s].

2.4. Dawka skuteczna

W celu oszacowania narażenia całego organizmu stosuje się **dawkę skuteczną (efektywną)**, która jest sumą iloczynów dawek równoważnych H_T dla poszczególnych tkanek lub narządów i czynników wagowych W_T danego narządu lub tkanki. Czynnik wagowy tkanek i narządów W_T , uwzględnia różną wrażliwość narządów i tkanek na promieniowanie oraz ich odmienne funkcje pełnione w organizmie. Dawka skuteczna (efektywna) wyrażana jest wzorem:

$$E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$$

gdzie:

- D_{TR} - oznacza dawkę pochłoniętą od promieniowania jonizującego R, uśrednioną w tkance lub narządzie T,
- W_R - oznacza czynnik wagowy promieniowania jonizującego R,
- W_T - oznacza czynnik wagowy tkanki lub narządu T.

Dawka skuteczna wyrażana jest w siwertach [Sv], jednostce stosowanej we wszystkich dawkach charakteryzujących narażenie żywego organizmu.

Tabela Współczynniki wagowe

Tkanka lub narząd	Współczynnik w_t
Gonady	0,20
Czerwony szpik kostny	0,12
Jelit grube	0,12
Płuca	0,12
Żołądek	0,12
Pęcherz moczowy	0,05
Gruzoły piersiowe	0,05
Wątroba	0,05
Przetyk	0,05
Tarczycza	0,05
Skóra Powierzchnia	0,01
kości	0,01
Pozostałe	0,05

Tabela Współczynniki jakości promieniowania

Rodzaj promieniowania	Współczynnik Q
Fotony wszystkie energie	1
Elektrony i miony, wszystkie energie	1
Neutrony, energia < 10 keV	5
Neutrony, energia > 10 keV do 100 keV	10
Neutrony, energia > 100 keV do 2 MeV	20
Neutrony, energia > 2 MeV do 20 MeV	10
Neutrony, energia > 20 MeV	5
Protony, z wyłączeniem protonów odrzutu, energia > 2 MeV	5
Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jądra	20

2.5. Aktywność

Dla oceny narażenia personelu pracującego ze źródłami promieniowania jonizującego potrzebne są też dane charakteryzujące te źródła takie jak: aktywność emitowanego promieniowania oraz żywotność izotopu: czy jest krótko- czy długożyciowy. Z punktu widzenia istotnego nie tylko dla ochrony radiologicznej, ale i zaplanowania właściwego leczenia lub diagnostyki bardzo ważną informacją jest znajomość aktywności radionuklidu w chwili podania.

Aktywnością nazywamy liczbę rozpadów zachodzących, w określonej ilości substancji promieniotwórczej, w jednostce czasu i wyrażamy wzorem:

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

gdzie:

- ΔN - ilość rozpadów jąder
- Δt - czas rozpadu
- λ - stała rozpadu

Jednostką aktywności w układzie SI jest bekerel (Bq). Jest to bardzo mała jednostka – jeden bekerel to jeden rozpad w ciągu sekundy, dlatego w praktyce używa się większych jednostek stanowiących wielokrotność bekerela np. kBq=10³ Bq, MBq=10⁶ Bq, GBq=10⁹Bq.

W celu oszacowania dawki równoważnej albo skutecznej pochodzącej od narażenia na promieniowanie gamma stosowany jest wzór na dawkę pochłoniętą w powietrzu:

$$D = \frac{\Gamma A t}{k l^2}$$

gdzie:

- Γ - stała charakterystyczna dla danego izotopu promieniotwórczego tzw. równoważna wartość stałej ekspozycyjnej
- A - aktywność źródła
- t - czas narażenia
- l - odległość od źródła
- k - krotność osłabienia osłony.

2.6. Dawki graniczne

Dawka graniczna– największa 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.

Dla pracownika zatrudnionego w warunkach narażenia dawka graniczna wynosi:

kategoria narażenia **A - 20 mSv/rok**

kategoria narażenia **B - 6 mSv/rok**

Dla osób z ogółu ludności dawka graniczna wynosi: **1 mSv/rok.**

Tabela nr 2. Wartości graniczne promieniowania jonizującego

Grupa narażenia	Dawka skuteczna (efektywna) mSv/rok		Dawka równoważna mSv/rok
	Całe ciało	Soczewki oczu	Skóra, dłonie, przedramiona, stopy, kostki
Pracownicy, uczniowie, studenci praktykanci w wieku ≥ 18 lat***)	20*)	20**)	500
Uczniowie, studenci i praktykanci w wieku od 16 do 18 lat	6	15	150
Osoby z ogółu ludności oraz uczniowie, studenci i praktykanci w wieku poniżej 16 lat	1	15	-----

*) Wartość ta może być przekroczona w danym roku kalendarzowym do 50mSv za zgodą właściwego organu pod warunkiem, że średnia roczna dawka skuteczna (efektywna) w każdym okresie pięciu kolejnych lat kalendarzowych, w tym lat, w których dawka graniczna została przekroczona, nie przekroczy 20mSv.

**) Wartość ta może być w pojedynczym roku kalendarzowym przekroczona do 50mSv, jednakże w każdym okresie pięciu kolejnych lat kalendarzowych, w tym lat, w których dawka graniczna została przekroczona, nie może przekroczyć 100mSv.

Dawki graniczne dla pracowników zatrudnionych w pracowniach wykorzystujących w swojej działalności promieniowanie jonizujące to suma dawek pochodzących zarówno od narażenia zewnętrznego i wewnętrznego, która nie obejmuje jednak:

- narażenia na promieniowanie naturalne
- narażenia na działanie promieniowania jonizującego w celach medycznych.

W ocenie narażenia pracowników bierze się pod uwagę zarówno dawki skuteczne (efektywne) charakteryzujące narażenie całego ciała jak i równoważne, które opisują narażenie wybranego narządu lub tkanki. W zastosowaniach medycznych źródeł promieniowania jonizującego jest to szczególnie istotne w radiologii interwencyjnej i zakładach medycyny nuklearnej ze względu na to, że ekspozycji na promieniowanie jonizujące poddawane są również dłonie lub/i oczy.

3. Organizacyjno-prawne zasady ochrony radiologicznej

OCHRONA RADIOLOGICZNA - jest to zespół przedsięwzięć organizacyjnych oraz rozwiązań technicznych, mający na celu zminimalizowanie zagrożeń związanych z oddziaływaniem promieniowania jonizującego na organizm człowieka.

Istota ochrony radiologicznej jest zapobieganie narażeniu ludzi i środowiska na promieniowanie jonizujące, a w przypadku braku takiej możliwości, ograniczenie jego skutków w możliwie najwyższym stopniu. Każda forma działalności z wykorzystaniem promieniowania jonizującego powinna być prowadzona w taki sposób, aby liczba osób narażonych była jak najmniejsza, a otrzymywane przez nich **dawki promieniowania jonizującego były możliwie małe i nie przekraczały dawek granicznych.**

3.1. Legalizacja działalności i optymalizacja

Podstawową zasadą przy stosowaniu źródeł promieniowania jonizującego jest **legalizacja** działalności, czyli konieczność posiadania zezwolenia upoważnionej komórki na nabywanie, stosowanie i przechowywanie źródeł promieniowania oraz jej **uzasadnienie**. Jeśli po przeanalizowaniu wszystkich możliwości w każdym konkretnym przypadku uznaje się, że nie istnieją inne równie skuteczne metody diagnostyczne ani terapeutyczne i zastosowanie promieniowania jest konieczne, wówczas działalność taka powinna być planowana zgodnie **z zasadą optymalizacji**. Zobowiązuje ona do stosowania takich działań i rozwiązań, które przy rozsądnym uwzględnieniu czynników społecznych i ekonomicznych, ograniczą do minimum liczbę osób narażonych zawodowo, a otrzymywane przez nich dawki będą możliwie najniższe. Jest to podstawowa, od lat wykorzystywana do planowania ochrony radiologicznej zasada ALARA (As Low As Reasonably Achievable), która zakłada:

„Należy tak planować i organizować pracę, aby otrzymywane dawki możliwie jak najmniejsze z racjonalnym uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych (zysk musi być zawsze większy od strat)”

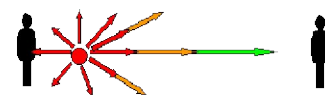
W celach związanych z optymalizacją zasady ALARA wartości dawek granicznych traktowane są umownie, nie jako wartości dopuszczalne w planowaniu ochrony radiologicznej. W tym celu stosuje się **limity użytkowe dawek**, które zakładają, że ustalone ograniczniki dawek dla konkretnego stanowiska pracy powinny być zawsze niższe niż określone przepisami dawki graniczne.

Po spełnieniu wyżej wymienionych warunków narażenie personelu minimalizuje się poprzez:

1. **Ograniczanie czasu ekspozycji:** im krótszy czas – tym mniejsza dawka;



2. Zachowanie możliwie **największej odległości** od źródła promieniowania – im większa odległość tym mniejsze narażenie (wartość dawki promieniowania spada wraz z kwadratem odległości);



3. **Używanie osłon osłabiających** promieniowanie;



4. Ograniczanie, jeśli to możliwe, aktywności izotopów promieniotwórczych.
5. Przestrzeganie warunków ochrony radiologicznej przed wchłonięciami.

3.2. Znaki ostrzegawcze przed promieniowaniem jonizującym

Wejście do każdej pracowni wykorzystującej w swojej działalności promieniowanie jonizujące oraz miejsca przechowywania źródeł i odpadów promieniotwórczych należy oznakować **tablicami informacyjnymi ze znakiem ostrzegawczym przed promieniowaniem jonizującym** wg wzoru określonego właściwymi przepisami. W pracowni rentgenowskiej, w widocznym miejscu, umieszcza się informację o konieczności powiadomienia rejestratorki i operatora aparatu rentgenowskiego, przed wykonaniem badania, o tym, że pacjentka jest w ciąży.



Ponadto drzwi do pracowni należy wyposażyć w **sygnalizację świetlną** informującą o włączeniu urządzenia wytwarzającego promieniowanie jonizującego.

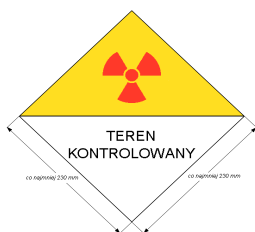
W zakładach radioterapii pomieszczenia do napromieniania wyposażone są w systemy uniemożliwiające włączenie zasilania aparatu wysokim napięciem przy otwartych drzwiach. W pracowniach klasy Z (pracownie z zamkniętymi źródłami promieniotwórczymi) stosuje się systemy, które przy otwieraniu drzwi do pomieszczenia terapeutycznego, powodują automatyczne umieszczenie źródeł w pozycji ochronnej. W pomieszczeniach do napromieniania konstrukcja drzwi powinna umożliwiać ich otwarcie od wewnątrz i od zewnątrz.

Przykładowe znaki ostrzegawcze przed promieniowaniem jonizującym:



3.3. Podział miejsc pracy na tereny kontrolowane i nadzorowane

Miejsca pracy w warunkach narażenia ze względu na rodzaj i wielkość zagrożeń klasyfikuje się na tereny kontrolowane i nadzorowane. Do nich dostosowuje się środki ochrony i podejmuje działania ochronne wobec pracowników.



Tereny kontrolowane to obszary, gdzie zachodzi możliwość otrzymania dawek typowych dla kategorii narażenia A, istnieją duże zmiany mocy dawki promieniowania jonizującego lub zachodzi możliwość rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych. Wstęp na teren kontrolowany jest ograniczony i rejestrowany, za zgodą kierownika jednostki mogą tam przebywać tylko osoby upoważnione i wyposażone w dawkomierze osobiste. W przypadku, gdy na obszarze tym istnieje możliwość kontaminacji należy wydzielić miejsce umożliwiające zmianę odzieży skażonej na czystą, zmierzenie skażeń, ich dekontaminację oraz miejsce do czasowego przechowywania przedmiotów. Prace na terenie kontrolowanym wykonuje się na podstawie opracowanych technologicznych instrukcji pracy. Pacjenci poddawani zabiegom diagnostycznym lub terapeutycznym oraz ich opiekunowie mają dostęp do terenu kontrolowanego po uzyskaniu informacji o zasadach zachowania się na tym terenie.



Tereny nadzorowane to miejsca objęte specjalnym nadzorem, które nie zostały zakwalifikowane do terenów kontrolowanych, gdzie zachodzi możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii B. Obszar terenu nadzorowanego oznakowuje się właściwymi tablicami informacyjnymi, wstęp na ten teren i jego opuszczanie przez osoby inne niż pracownicy tam zatrudnieni podlega rejestracji.

Na obszarach wyznaczonych jako tereny nadzorowane i kontrolowane wykonuje się pomiary dozymetryczne w środowisku pracy. Pomiary powinny odbywać się zgodnie z harmonogramem wskazującym częstotliwość, miejsce i czas wykonywania pomiarów oraz zawierać informacje na temat przyrządów dozymetrycznych, metod i procedur pomiarowych. Zakres pomiarów środowiskowych powinien uwzględniać rodzaj i energię promieniowania oraz obejmować pomiar mocy dawki.

3.4. *Zaliczenie pracowników do kategorii narażenia A lub B*

W zależności od przewidywanego poziomu narażenia i w celu jego właściwej oceny kierownik jednostki kwalifikuje pracowników do **kategorii narażenia A lub B**.

Kategoria A obejmuje pracowników, u których istnieje możliwość przekroczenia dawki skutecznej **powyżej 6mSv rocznie** lub przekroczenia którejkolwiek

z dawek równoważnych: 15mSv w ciągu roku dla soczewek oczu lub 150mSv/na rok dla skóry lub kończyn. Monitorowanie narażenia u pracowników zaliczonych do kategorii A odbywa się na **podstawie pomiarów dawek indywidualnych**. Jeśli istnieje ryzyko narażenia na skażenia wewnętrzne, które mogą mieć wpływ na poziom dawki efektywnej dla pracowników tej kategorii, ocenie podlegają również pomiary skażeń wewnętrznych. Jeśli pracownik kategorii A wykonuje prace z otwartymi źródłami promieniotwórczymi (medycyna nuklearna) lub manipuluje dłońmi w obszarze wiązki pierwotnej (radiologia zabiegowa) należy wykonywać także pomiary dawek równoważnych na dłonie, w uzasadnionych przypadkach - na soczewki oczu. **Pracownicy zaliczeni do kategorii A podlegają badaniom lekarskim wstępnym i okresowym raz w roku.**

Do **kategorii B** kwalifikuje się pracowników, **których nie zaliczono do kategorii A**. W stosunku do pracowników kategorii B ocena narażenia może być prowadzona na podstawie **pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy**. Jednak decyzją kierownika jednostki organizacyjnej lub warunkiem zezwolenia może być objęcie systematycznymi pomiarami dawek indywidualnych także pracowników tej kategorii. **Pracownicy zaliczeni do kategorii B podlegają badaniom lekarskim wstępnym i okresowym raz na trzy lata.**



3.5. Szczególna ochrona kobiet w ciąży w pracy

Ryzyko, jakie niesie za sobą napromienienie w czasie ciąży, jest uzależnione od stadium ciąży i dawki pochłoniętej przez płód lub zarodek. Najbardziej szkodliwa jest ekspozycja na promieniowanie jonizujące w trakcie trwania organogenezy, czyli powstawania narządów wewnętrznych, pomiędzy 3 a 8 tygodniem. Napromienienie w tym okresie może warunkować powstawanie wad wrodzonych. Mniejszym ryzykiem obarczona jest ekspozycja w drugim trymestrze ciąży, a najmniejszym w trzecim. Należy pamiętać, iż w okresie od 8 do 25 tygodnia rozwija się centralny system nerwowy, którego wrażliwość na promieniowanie jest wyjątkowo duża.



Kobieta w ciąży będąca pracownikiem zatrudnionym w warunkach narażenia podlega szczególnej ochronie. W świetle obowiązujących przepisów kobieta może pracować w narażeniu na promieniowanie jonizujące pod warunkiem, że **dziecko w łonie matki nie otrzyma dawki skutecznej przekraczającej 1mSv, podczas całego okresu trwania ciąży, czyli przez 9 miesięcy**. Próg dawki dla kobiety w ciąży jest taki sam jak graniczna dawka

skuteczna dla osób z populacji. Kobieta powinna zawiadomić o tym fakcie kierownika jednostki, natomiast jeśli wykonuje pracę jako pracownik zewnętrzny - powiadamia pracodawcę zewnętrznego.

Przepisy w zakresie ochrony radiologicznej regulują także bezpieczeństwo warunków pracy w stosunku do kobiet karmiących piersią, które wracają do obowiązków zawodowych w narażeniu na promieniowanie jonizujące. Zgodnie z zapisami Prawa atomowego Art. 14 pkt. 1c. **„Kobieta karmiąca piersią nie może pracować w warunkach narażenia na skażenie promieniotwórcze.”**

Zapis ten ma szczególne znaczenie w zakładach medycyny nuklearnej, gdzie ryzyko kontaminacji jest dość powszechne. Na ten rodzaj zagrożenia narażone są pracownice podczas przygotowywania radiofarmaceutyków (np. w pracowniach radiochemicznych) oraz pielęgniarki w trakcie aplikacji radiofarmaceutyku choremu. Do czynności krytycznych należą także obowiązki sanitariuszek podczas podawania posiłków pacjentom hospitalizowanym po podaniu dawki terapeutycznej radionuklidu i przy usuwaniu odpadów promieniotwórczych.

3.6. Ochrona praktykantów, uczniów i studentów

Obowiązujące przepisy z ochrony radiologicznej i bezpieczeństwa jądrowego wprowadzają także regulacje w odniesieniu do praktykantów, uczniów i studentów przygotowujących się do pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące. Podstawowe zasady zostały określone w postanowieniach ustawy *Prawo atomowe* (art. 10, 11, 14, 17, 21, 22, 23c, 26, 29-32) i dotyczą również pracowników zatrudnionych w narażeniu.

Jednym z podstawowych warunków umożliwiających odbywanie praktyk w warunkach narażenia jest posiadanie orzeczenia lekarskiego o braku przeciwwskazań do takich zajęć, wydanego przez uprawnionego lekarza (tzw. „J” na pieczęcie) oraz po odpowiednim przeszkoleniu z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

Ustawa wprowadza również regulacje dotyczące dawek granicznych. Dla uczniów, praktykantów i studentów, którzy ukończyli 18 rok życia obowiązują takie same limity dawek granicznych jak dla pracowników. W stosunku do uczniów w wieku powyżej 16 lat, ale poniżej lat 18-tu wyznaczono oddzielne limity graniczne, które zostały przedstawione w roz 2 pkt. 2.6. - Dawki graniczne.

Zapisy, dotyczące pracownic w ciąży mają zastosowanie również w stosunku do kobiet w ciąży, które są studentkami, praktykantkami lub uczennicami (pkt 3.5).

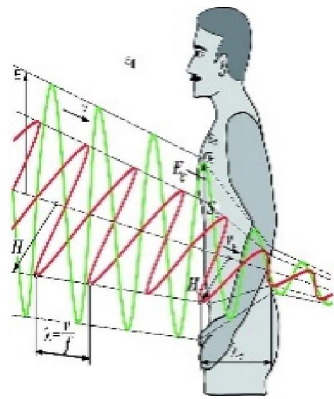
Wprowadzony podział pracowników na dwie kategorie narażenia A i B dotyczy także praktykantów i studentów. Obowiązują te same zasady oceny narażenia, rejestracji dawek i informowania o narażeniu. Wyjątek stanowią przypadki, gdy pracownicy kategorii A mogą być narażeni na przekroczenie dawek granicznych w uzasadnionych przypadkach do wartości dawek określonych przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. **Niedopuszczalne jest podobne przekroczenie dawek w stosunku do uczniów, praktykantów i studentów, jeżeli w wyniku tego narażenia występuje prawdopodobieństwo powstawania skażeń promieniotwórczych ciała.**

4. Kontrola narażenia zawodowego

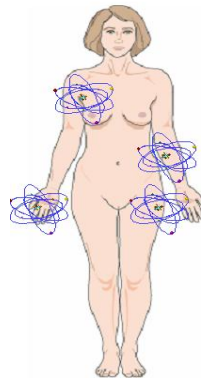
4.1. Rodzaje narażenia: zewnętrzne i wewnętrzne

Narażenie, czyli wystawienie organizmu ludzkiego na działanie promieniowania jonizującego, które może nastąpić w procesie działania zewnętrznego lub/i wewnętrznego.

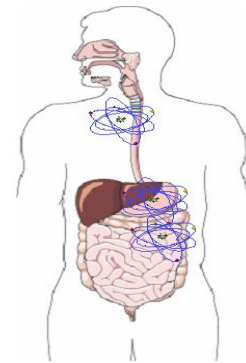
Skażenie promieniotwórcze - niezamierzona lub niepożądana obecność substancji promieniotwórczej na powierzchni (zewnętrzne) lub/i wewnątrz ciała (wewnętrzne), możliwość napromienienia lub skażenia otoczenia.



Napromienienie zewnętrzne



Skażenie zewnętrzne



Skażenie wewnętrzne

Napromienienie zewnętrzne ma miejsce wtedy, gdy źródło promieniowania znajduje się w sąsiedztwie osoby narażonej, na zewnątrz organizmu. Ten rodzaj ekspozycji najczęściej dotyczy osób zawodowo pracujących z promieniowaniem jonizującym. Źródłem narażenia zewnętrznego mogą być urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące (aparaty rentgenowskie, tomografy komputerowe, akceleratory liniowe, urządzenia SPECT/CT, PET/CT) lub źródła promieniotwórcze w postaci zamkniętej lub otwartej (np. izotopy promieniotwórcze stosowane w medycynie nuklearnej i brachyterapii). W procesie narażenia zewnętrznego istotne jest to, że większość energii promieniowania pochłaniana jest przez organizm, nie oznacza to jednak, że staje się on radioaktywny. Osoba napromieniona zewnętrznym promieniowaniem nie jest promieniotwórcza i nie stanowi zagrożenia dla otoczenia.

Napromienienie wewnętrzne ma miejsce wtedy, gdy substancja promieniotwórcza przedostanie się do organizmu lub zostanie do niego wprowadzona i pozostaje tam do momentu wydalenia. Proces ten może być zamierzony w celu wykonania badania diagnostycznego (np. podanie choremu radiofarmaceutyku przed badaniem scyntygraficznym) lub zastosowania leczenia (brachyterapia, medycyna nuklearna). Może też nastąpić w drodze niezamierzonego przedostania się nuklidu promieniotwórczego do organizmu. Na ryzyko przypadkowego wchłonięcia substancji promieniotwórczej narażeni są najczęściej pracownicy mający kontakt z otwartymi źródłami promieniotwórczymi, zarówno w pracach rutynowych jak i w momencie wystąpienia zdarzenia radiacyjnego. Skutki ekspozycji wewnętrznej są szczególnie niebezpieczne, gdy do organizmu przedostanie się promieniowanie silnie jonizujące - alfa. Emitery alfa są nośnikami dużej energii, którą przekazują komórkom z bardzo bliskiej odległości. Najczęstszymi drogami, przez które nuklidy mogą być wprowadzone do wnętrza organizmu są drogi oddechowe, układ pokarmowy oraz wnikanie przez skórę. Osoba po ekspozycji wewnętrznej, do momentu wydalenia izotopu z organizmu, jest źródłem promieniowania i może stanowić pewne zagrożenie dla otoczenia.

4.2. Metody kontroli narażenia zawodowego

Praca lub stałe przebywanie w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące wymaga monitorowania wielkości tego narażenia i oceny jego ewentualnego wpływu na zdrowie pracownika. Pomiary należy wykonywać systematycznie, nie rzadziej niż raz na kwartał, wzorcowanymi przyrządami pomiarowymi lub w akredytowanym laboratorium. Dane z pomiarów umożliwiają ocenę narażenia pracowników, klasyfikację do odpowiedniej kategorii narażenia, wykrywanie ewentualnego wzrostu poziomu promieniowania, a w konsekwencji np. wprowadzenie zmian w organizacji pracy.

Kontrola narażenia (zewnętrznego/wewnętrznego) obejmuje:

- pomiar dawki lub skażenia promieniotwórczego,
- oszacowanie narażenia na promieniowanie lub działanie substancji promieniotwórczych
- interpretację wyników i ich rejestrację.

Monitoring narażenia obejmuje pomiary dawek indywidualnych lub/i środowiska pracy.

4.2.1. Dozymetria indywidualna

Kontrola dawek indywidualnych – prowadzona **obowiązkowo** w przypadku pracowników zaliczonych do **kategorii** narażenia **A**, obejmuje pomiar dawek promieniowania za pomocą dozymetrów indywidualnych, noszonych przez każdego z pracowników.

Metody dozymetrii indywidualnej:

1. **Detektory filmowe** – zaczernienie kliszy fotograficznej zależy od ilości pochłoniętego promieniowania, a więc i dawki (na całe ciało - zakres pomiarowy 0.1mSv - 1Sv).
2. **Detektory termoluminescencyjne TLD** – wykorzystują zjawisko świecenia niektórych kryształów uprzednio naświetlonych promieniowaniem jonizującym. Świecenie następuje po podgrzaniu do temperatury 100°C lub wyżej. Materiały najczęściej wykorzystywane w dozymetrach termoluminescencyjnych to fluorek litu aktywowany tytanem lub magnezem. Ilość wyemitowanego światła jest wprost proporcjonalna do zaabsorbowanej dawki promieniowania jonizującego. [Całe ciało - zakres pomiarowy 0.1mSv - 1Sv; Skóra dłoni - zakres pomiarowy 0.1 mSv - 1 Sv; soczewki oczu – w zakresie 0.03 mSv - 1 Sv]
3. **Detektory elektroniczne (aktywne)** – umożliwiają natychmiastowy odczyt dawki, przeznaczone do pomiaru indywidualnego równoważnika dawki i mocy dawki oraz do sygnalizowania przekroczenia ustawionych progów alarmu.



Elektroniczny dawkomierz osobisty

Najszerzej stosowane są dawkomierze indywidualne do pomiaru dawki skutecznej (**na całe ciało**) i jednocześnie z nimi dawkomierze do oszacowania dawek równoważnych **na dłoń**ie tzw. pierścionkowe i dawkomierze **na oczy**. Detektory pierścionkowe stanowią powszechne wyposażenie personelu zatrudnionego w zakładach medycyny nuklearnej, mającego kontakt

z materiałami i odpadami promieniotwórczymi oraz w radiologii zabiegowej, gdzie w wiązce promieniowania znajdują się dłonie lekarza wykonującego zabieg. Rzadziej, ale także w zakładach medycyny nuklearnej i radiologii interwencyjnej, stosuje się dawkomierze umożliwiające pomiar dawki równoważnej w soczewkach oczu.



*Detektor filmowy
- na całe ciało,*



*Detektory termoluminescencyjne :
- całe ciało,*



*Detektor TLD
- na oczy*



*Detektor TLD
- pierscionkowy*

4.2.2. *Kontrola środowiska pracy*

Kontrola środowiska pracy tzw. dozymetria środowiskowa – prowadzona w przypadku pracowników zaliczonych do kategorii narażenia B, wykonywana na terenach kontrolowanych i nadzorowanych. W zależności od rodzaju prac monitoring środowiska pracy obejmuje:

1. pomiar mocy dawki w otoczeniu źródeł promieniowania,
2. wykrywanie i pomiary skażeń promieniotwórczych w tym:
 - pomiary skażeń promieniotwórczych powierzchni,
 - kontrola szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych.

Wykonywanie pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy określa:

- ustalenie miejsca, czasu i częstotliwości przeprowadzania pomiarów,
- ustalenie rodzajów wykonywanych pomiarów,
- wskazanie metod, przyrządów oraz procedur pomiarowych.

Przyrządy dozymetryczne stosowane do kontroli i oceny narażenia, powinny posiadać świadectwo wzorcowania. Świadectwo wzorcowania, wydaje laboratorium pomiarowe posiadające akredytację.

Podstawowym elementem każdego przyrządu dozymetrycznego jest detektor, układ pomiarowy i zasilacz. Zadaniem układu pomiarowego jest zarejestrowanie procesu oddziaływania promieniowania jonizującego z materiałem detektora. Charakter tego oddziaływania jest zależny od rodzaju promieniowania. W większości przypadków oddziaływanie promieniowania z materiałem detektora skutkuje wytworzeniem w sposób pośredni lub bezpośredni ładunku elektrycznego, który pojawia się w detektorze niemal natychmiast po oddziaływaniu z promieniowaniem. Na tej zasadzie opiera się działanie, liczników Geigera-Muellera, liczników proporcjonalnych, detektorów półprzewodnikowych oraz fotopowielaczy w układach scyntylacyjnych. Z uwagi na sposób odczytu wartości pomiaru wyróżnia się detektory aktywne i pasywne.

Detektory **aktywne** pozwalają na zarejestrowanie sygnału w czasie rzeczywistym w zakresie pomiaru mocy dawki i skażeń promieniotwórczych. Do tej grupy zalicza się detektory gazowe (komora jonizacyjna, liczniki proporcjonalne, liczniki Geigera-Muellera), detektory półprzewodnikowe, liczniki scyntylacyjne.



RK-100-2
(moc dawki z sondą do pomiaru skażeń powierzchni)



FH-40G (pomiar mocy dawki)



RKP-2 Miernik skażeń powierzchni



Bramka dozymetryczna do pomiaru skażeń promieniotwórczych

Działanie detektorów **pasywnych** opiera się na zbieraniu informacji przez dany okres czasu i odczycie zarejestrowanej dawki. Wśród tego typu przyrządów wymienia się m.in. detektory termoluminescencyjne, filmowe, folie aktywacyjne; nie wymagają one zasilania w czasie pomiaru.



Dozymetr TLD – środowiskowy

5. Podstawy prawne ochrony radiologicznej

5.1. Prawo krajowe, europejskie i międzynarodowe

Obowiązujące na świecie przepisy prawne dotyczące wykorzystania energii jądrowej i promieniowania jonizującego stanowią jeden z najbardziej rygorystycznych systemów prawnych. Wytyczne w poszczególnych państwach opierają się na zaleceniach Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA), która powstała w 1957r. i działa przy Organizacji Narodów Zjednoczonych. Krajowe urzędy dozoru jądrowego poszczególnych państw wprowadzają przepisy i uregulowania w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego, które opierają się na wytycznych IAEA.

W Polsce, w celu ochrony społeczeństwa, środowiska i osób narażonych zawodowo przed skutkami promieniowania jonizującego, powstało w 1957r. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR). Działalność związana z narażeniem podlega nadzorowi i kontroli, które prowadzą:

- 1) organy dozoru jądrowego - **Państwowa Agencja Atomistyki**;
- 2) **państwowy wojewódzki inspektorat sanitarny**,
- 3) **Główny Inspektorat Sanitarny**.

Najważniejsze przepisy prawa międzynarodowego z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej to m.in. nowa Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013r., Powszechnie nazywana **Dyrektywą BSS** (Basic Safety Standard) ustanawia podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego.

W Polsce, głównym dokumentem regulującym stosowanie promieniowania jonizującego we wszystkich rodzajach działalności, jest **ustawa Prawo atomowe** (tekst jednolity - Dz. U. z 2019 r. poz. 1792) i akty wykonawcze do ustawy, min:

1. RMZ w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej (tekst jednolity Dz. U. z 2017 r. poz. 884).
2. RRM w sprawie ochrony fizycznej materiałów jądrowych i obiektów jądrowych (Dz. U. z 2008 r. poz. 1295)
3. RRM 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. z 2007 r. poz. 911)
4. RRM w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych (Dz. U. z 2007 r. poz. 910, z póź. zm.)
5. RRM w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2006 r. poz. 994, z póź. zm.)
6. RRM w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych (Dz. U. z 2005 r. poz. 169 oraz z 2007 r. poz. 912)
7. RRM w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2005 r. poz. 168)
8. RRM w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. U. z 2015 r. poz. 2267 i z 2016 r. poz. 94)
9. RRM w sprawie stanowiska mającego istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz inspektorów ochrony radiologicznej (Dz. U. z 2016 r. poz. 1513)
10. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi (Dz. U. z 2006, Nr 180, poz. 1325)
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. z 2008r., Nr 59, poz. 365, zmiana: Dz. U. z 2011r., Nr 48, poz. 253)
12. 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 (tekst jednolity: Dz. U. z 2013r., poz.874)
 13. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2007 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących formy i treści wzorcowych i roboczych procedur radiologicznych (Dz. U. z 2007r, Nr 24, poz.161)

5.1.1. Uregulowania prawne medycznego stosowania promieniowania jonizującego

Stosowanie promieniowania jonizującego w zastosowaniach medycznych reguluje min . rozdział 3 ustawy **Prawo atomowe** i akty wykonawcze, w szczególności Rozporządzenie Ministra Zdrowia *w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej, poz. 884, Warszawa, dnia 5 maja 2017 r.*

Udzielanie świadczeń zdrowotnych związanych z narażeniem na promieniowanie jonizujące odbywa się na podstawie udokumentowanych **radiologicznych procedur roboczych** (tzw. procedury szczegółowe), opracowanych na podstawie procedur wzorcowych.

Podstawowym obowiązkiem komórek organizacyjnych stosujących promieniowanie jonizujące jest **prowadzenie i utrzymanie systemu zarządzania jakością**.

System zarządzania jakością powinien obejmować każdy etap działalności diagnostycznej i leczniczej, w której stosowane jest promieniowanie jonizującego w celu osiągnięcia jak najlepszych wyników i zminimalizowania błędów. Szczegółowe wymagania systemu zarządzania jakością w zakładach medycyny nuklearnej, radiodiagnostyki i radiologii zabiegowej oraz radioterapii określa *Załącznik nr 5, ww. rozporządzenia*. i obejmuje:

1. Procedury nadzoru nad dokumentacją i nadzoru nad zapisami oraz formularze niezbędne do prowadzenia zapisów;
2. Prowadzenie dokumentacji chorego.
3. Instrukcje obsługi urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych;
4. Procedury i instrukcje dotyczące sposobu wykonywania testów eksploatacyjnych, testów specjalistycznych lub testów podstawowych urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych przeprowadzanych przez jednostkę ochrony zdrowia we własnym zakresie;
5. Zapisy dotyczące wyników przeprowadzanych testów eksploatacyjnych, testów specjalistycznych, testów podstawowych oraz testów odbiorczych (akceptacyjnych) urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych;
6. Informacje dotyczące kwalifikacji i szkoleń personelu;
7. Procedury przeprowadzania klinicznych audytów wewnętrznych;
8. Zapisy dotyczące wyników klinicznych audytów wewnętrznych oraz podjętych działań korygujących i naprawczych;
9. Informacje dotyczące okresowych przeglądów systemu zarządzania jakością dokonywanych przez kierownika jednostki.

5.2. Prawa i obowiązki kierownika jednostki organizacyjnej

Odpowiedzialność za przestrzeganie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej **ponosi kierownik jednostki organizacyjnej**.

W zastosowaniach medycznych promieniowania jonizującego pracodawca jest odpowiedzialny min. za:

- zapewnienie wykonywania prac w warunkach narażenia zgodnie z zasadą optymalizacji,
- dokonanie oceny narażenia pracowników,
- zapewnienie przeprowadzenia wstępnych i okresowych szkoleń z ochrony radiologicznej,
- kwalifikację pracowników do kategorii narażenia A lub B,
- rejestr dawek indywidualnych i pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy,
- wprowadzenie systemu rejestracji ekspozycji niezamierzonej i narażenia przypadkowego,
- zapewnienie pracownikom opieki medycznej, środków ochrony osobistej i sprzętu dozymetrycznego,
- wyznaczanie terminu i składu audytu klinicznego wewnętrznego,
- udostępnienie obiektu i dokumentacji dotyczącej ochrony radiologicznej organom kontrolującym.

Wewnętrzny nadzór nad przestrzeganiem wymagań ochrony radiologicznej **sprawuje inspektor ochrony radiologicznej**, który pełni nadzór w zakresie przestrzegania procedur, instrukcji pracy oraz prowadzenia dokumentacji dotyczącej pracowników i innych osób postronnych przebywających na terenie Instytutu w warunkach narażenia, z wyjątkiem ochrony radiologicznej pacjentów poddanych diagnostyce i leczeniu przy użyciu promieniowania jonizującego.

5.3. Obowiązki pracownika

Działania ochronne mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa radiologicznego mają sens tylko wtedy, gdy w proces ten zaangażowane są wszystkie strony. Dlatego zachowanie standardów bezpieczeństwa nie jest możliwe bez udziału personelu wykonującego obowiązki zawodowe w warunkach narażenia. Do obowiązków pracownika min. należą:

- znajomość przepisów i zasad z zakresu bezpieczeństwa jądrowego, ochrony radiologicznej i procedur awaryjnych obowiązujących na danym stanowisku pracy oraz ich przestrzeganie;
- branie udziału w obowiązkowych szkoleniach wstępnych i okresowych z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz uczestnictwo w wymaganych egzaminach sprawdzających;
- uczestniczenie w organizowanych przez przełożonych szkoleniach stanowiskowych i uzupełniających w zakresie obsługi aparatury radiologicznej i przyrządów pomiarowych zapewniające właściwe korzystanie z infrastruktury;
- podnoszenie kwalifikacji w zakresie ochrony radiologicznej pacjenta zgodnie z uregulowaniami określonymi w obowiązujących w tym zakresie przepisach, obowiązek ten dotyczy pracowników wykonujących i nadzorujących procedury z użyciem promieniowania jonizującego;
- posiadanie odpowiednich do zajmowanego stanowiska uprawnień: operatora akceleratora medycznego (S-A) lub/i operatora urządzeń do brachyterapii ze źródłami promieniowania (S-Z);

- wykonywanie prac w oparciu o obowiązujące regulaminy, przepisy, procedury i instrukcje z zachowaniem standardów bezpieczeństwa radiologicznego oraz stosowanie się do wydawanych w tym zakresie poleceń i wskazówek przełożonych;
- dbanie o należyty stan urządzeń radiologicznych i pomocniczych, narzędzi i sprzętu pomiarowego, wykonywanie zgodnie z powierzonymi obowiązkami testów kontrolnych, przeglądów i innych czynności zapewniających prawidłową pracę aparatury;
- stosowanie środków ochrony zbiorowej i używanie przydzielonych środków ochrony indywidualnej oraz sprzętu dozymetrycznego, zgodnie z ich przeznaczeniem;
- terminowe poddawanie się wstępnym, okresowym i kontrolnym badaniom lekarskim oraz doraźnym zaleceniom lekarskim;
- niezwłocznie zawiadamianie przełożonego o zauważonych nieprawidłowościach mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo radiologiczne oraz o wszelkich sytuacjach awaryjnych, wypadkach albo zagrożeniu życia lub zdrowia ludzkiego; ostrzeżenie współpracowników, a także pozostałe osoby znajdujące się w obszarze zagrożenia, o grożącym im niebezpieczeństwie;
- w przypadku zaistnienia zdarzenia radiacyjnego lub sytuacji awaryjnej obowiązkiem pracownika jest wykonywanie poleceń osoby kierującej akcją;
- współpraca z pracodawcą i przełożonymi w wypełnianiu obowiązków dotyczących bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

Załącznik nr 1_ Ochrona radiologiczna w zakładach medycyny nuklearnej_ (dodatkowo dla pracowników Kliniki Endokrynologii Onkologicznej i Medycyny Nuklearnej)

Załącznik nr 2_ Ochrona radiologiczna w zakładach diagnostyki obrazowej_ (dodatkowo dla pracowników Zakładów Radiologii I i II, Kliniki Gastroenterologii Onkologicznej, Kliniki Nowotworów Układu Moczowego, Kliniki Układu Nerwowego, Zakładu Profilaktyki Nowotworów, Zakładu Fizyki Medycznej)

Załącznik nr 3_ Ochrona radiologiczna w zakładach radioterapii (teleradioterapii i brachyterapii)_ (dodatkowo dla pracowników Zakładu Radioterapii I, Pracowni Przygotowania Planowania i Leczenia Napromienianiem KOR, Zakładu Brachyterapii, Zakładu Fizyki Medycznej)

Załącznik nr 4_ Zarządzanie źródłami wysokoaktywnymi_ (dodatkowo dla pracowników Zakładu Brachyterapii, Zakładu Fizyki Medycznej, Samodzielnej Pracowni Serologii Transfuzjologicznej z Bankiem Krwi).

Ochrona radiologiczna w zakładach medycyny nuklearnej

Medycyna nuklearna - dziedzina nauki o charakterze interdyscyplinarnym, łączy wiedzę lekarską z naukami pokrewnymi z zakresu fizyki, matematyki, elektroniki, informatyki, chemii, farmacji i biologii. Zajmuje się zastosowaniem radioizotopów w postaci otwartych źródeł promieniowania, dla celów diagnostyki i leczenia.

diagnostyka – wykorzystuje możliwość śledzenia losów związków znakowanych radioizotopami lub radioizotopów w organizmie ludzkim drogą pomiarów emitowanego przez te izotopy promieniowania, dokonywanych na zewnątrz ciała pacjenta lub w oparciu o pomiary radioaktywności próbek pobranego materiału biologicznego np. krew, mocz...

terapia – wykorzystuje efekt pochłaniania promieniowania jonizującego przez poszczególne narządy i tkanki.

Źródła narażenia zewnętrznego w zakładach medycyny nuklearnej:

- otwarte źródła promieniotwórcze (radiofarmaceutyki) i źródła zamknięte (kalibracyjne),
- urządzenia radiologiczne,
- pacjenci po podaniu radiofarmaceutyków,
- odpady promieniotwórcze.



Skaner PET-CT_Philips



Pracownia radiochemiczna



Podanie radiofarmaceutyku



Odpady promieniotwórcze

Najważniejsze zasady ochrony radiologicznej w zakładach medycyny nuklearnej:

1. Wyposażenie pracowni w odpowiedni sprzęt ochronny i pomiarowy dostosowany do rodzaju wykonywanych prac i używanych substancji promieniotwórczych:

- ołowiowe osłony osobiste typu: fartuchy, rękawice, okulary, kryzy na tarczyce,
- jednorazowa odzież ochronna: fartuchy, rękawiczki, ochraniacze na buty,
- osłony z cegieł ołowianych i szkła ołowianego,
- osłony na fiolki i strzykawki wykonane z wolframu,
- ochronny przepust pomiędzy pracownią radiochemiczną, a pokojem podań izotopów,
- ochronne pojemniki transportowe do przenoszenia izotopów i strzykawek z radiofarmaceutykami,
- ruchome parawany ochronne,
- dyspenser do rozdozowywania izotopu,
- aparatura do pomiaru aktywności radiofarmaceutyków,
- sejf do przechowywania źródeł promieniotwórczych,
- przyrządy dozymetryczne do pomiaru mocy dawki oraz wykrywania i pomiaru skażeń promieniotwórczych.

2. Stosowanie osłon chroniących przed narażeniem zewnętrznym.

Osłony stałe w pomieszczeniach, w których znajdują się urządzenia radiologiczne typu SPECT/CT i PET/CT oraz przebywają pacjenci po podaniu radiofarmaceutyków skutecznie pochłaniają promieniowanie X i gamma.

Osłony ruchome i indywidualne w zależności od zakresu wykonywanych prac i rodzaju promieniowania, które emitują radiofarmaceutyki:

- a. emitery promieniowania **alfa** - problem osłon praktycznie nie występuje. Wystarczające osłabienie tego typu promieniowania zapewnia kartka zwykłego papieru lub zastosowanie zasady odległości, bezwzględnie natomiast należy unikać ryzyka wchłonięcia izotopu alfa promieniotwórczego;
- b. emitery promieniowania **beta** - osłony z materiałów lekkich np. tworzywa sztuczne;
- c. emitery promieniowania **gamma** - osłony z materiałów charakteryzujących się dużą liczbą atomową np. ołów, wolfram, zubożony uran. Zalecane:
 - stosowanie pojemników transportowych podczas przenoszenia radiofarmaceutyków,
 - manipulacja źródłami za pomocą penset zza osłon i parawanów umieszczanych na stole oraz małych ruchomych ścianek,
 - wykonywanie prac w ochronnej odzieży ołowiowej: fartuchy chroniące całe ciało i kryzy na tarczyce,
 - stosowanie osłon na strzykawki pochłaniające promieniowanie beta i gamma podczas podawania radiofarmaceutyku choremu.



Osłonki na strzykawki



Pojemnik transportowy



Osłona stołowa



Szczypce

- 3. Unikanie niepotrzebnych ekspozycji** na promieniowanie jonizujące poprzez:
- sprawne wykonywanie prac wymagających manipulacji substancjami promieniotwórczymi: zarówno podczas podawania ich chorym, jak i w trakcie przygotowywania.
 - przestrzeganie zasad bezpiecznej pracy ze źródłami promieniotwórczymi: wszędzie tam, gdzie jest to możliwe należy ograniczyć ilości i aktywności izotopu.
- 4. Ograniczenie kontaktów z pacjentami po podaniu radiofarmaceutyków**, zwłaszcza emitującymi promieniowanie gamma, poprzez:
- zachowanie możliwie największej odległości od pacjenta,
 - unikanie wchodzenia do poczekalni pacjentów bez potrzeby,
 - minimalizowanie czasu przebywania w pomieszczeniach pacjentów po podaniu izotopu,
 - w przypadku pacjentów hospitalizowanych po leczeniu jodem promieniotwórczym (^{131}I): komunikacja z pacjentem za pomocą systemu interfonii i interwizji, podawanie i odbieranie posiłków przez służę.
- 5. Zachowanie odległości** – należy maksymalizować odległość od źródła. Natężenie promieniowania maleje wraz z kwadratem odległości, dwukrotne zwiększenie odległości powoduje czterokrotną redukcję narażenia. Tam, gdzie to możliwe prace należy wykonywać za pomocą pęset i specjalnych manipulatorów, dzięki którym można zwiększać odległość od źródła promieniowania nawet o kilka metrów.
- 6. Unikanie skażeń promieniotwórczych.** Kontaminacja, czyli zanieczyszczenie osoby, powierzchni lub przedmiotu substancją radioaktywną może być pochodzić bezpośrednio od stosowanych radiofarmaceutyków, z odpadów promieniotwórczych lub od pacjenta po podaniu radiofarmaceutyku (izotop promieniotwórczy jest wydalany wraz ze wszystkimi płynami ustrojowymi, skażone są więc wymiociny, krew, mocz).
- W celu zapobiegania kontaminacji należy:
- wszelkie czynności należy wykonywać tylko i wyłącznie w pomieszczeniach do tego przeznaczonych, pod wyciągiem i w specjalnych komorach laminarnych,
 - przestrzegać technologicznych instrukcji pracy z substancjami promieniotwórczymi,
 - używać odzieży ochronnej (okulary, fartuchy, rękawiczki, ochraniacze na buty),
 - po zakończeniu prac wykonać kontrolę skażeń promieniotwórczych powierzchni roboczych i kontrolę skażeń osobistych. *Każde usuwalne skażenie powierzchni i przedmiotów należy jak najszybciej usunąć, aby nie dopuszczać do przeniesienia go na ludzi. Przedmioty i sprzęt medyczny, które uległy kontaminacji należy wyeliminować z użytkowania: do czasu obniżenia aktywności należy przechowywać je w oddzielnym pomieszczeniu np. magazynie odpadów promieniotwórczych. Jeśli kontaminacja nieusuwalna dotyczy całego pomieszczenia należy je zamknąć tj. wyłączyć z eksploatacji do czasu spadku aktywności na skażonych powierzchniach. W przypadku stwierdzenia skażeń ciała należy usunąć skażenie z powierzchni skóry używając mydła i wody.* (Uwaga! – zachować szczególną ostrożność, ponieważ uszkodzenie skóry może doprowadzić do skażenia wewnętrznego).
- 7. Eliminowanie możliwości dostania się substancji radioaktywnej do organizmu:**
- należy przestrzegać procedur i instrukcji związanych z odpowiednią preparatyką,
 - pamiętać o bezwzględnym zakazie spożywania pokarmów i napojów w pracowniach izotopowych oraz wnoszeniu produktów spożywczych do tych pomieszczeń,
 - należy unikać nieuzasadnionego przenoszenia lub wnoszenia substancji promieniotwórczych z tych pracowni.

8. Grupowanie czynności skraca sumaryczny czas kontaktu ze źródłem promieniowania, dlatego zaleca się przygotowywanie serii dawek, zamiast przygotowywania pojedynczych porcji.

9. Gospodarka odpadami promieniotwórczymi. W zakładach medycyny nuklearnej odpady promieniotwórcze stanowią:

- materiały i sprzęt laboratoryjny używany podczas przetwarzania i przygotowywania radiofarmaceutyków: szkło, fiołki, elementy aparatury, lignina, wata itp.;
- narzędzia użyte do podawania radiofarmaceutyków: strzykawki, igły;
- środki ochrony osobistej zanieczyszczone substancjami promieniotwórczymi: jednorazowe rękawice gumowe, fartuchy, czepki, ochraniacze na obuwie;
- odpady pozostawione przez pacjentów OTI (np. przybory higieny osobistej, ręczniki, itp.),
- zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze do kalibracji urządzeń radiologicznych stanowią odrębną grupę odpadów promieniotwórczych.

Postępowanie z odpadami promieniotwórczymi regulują wewnętrzne procedury NIO-PIB dostępne na stronie intranetowej: Zakładka ZDZ(ISO)→ PR16_Zarządzanie systemem ochrony radiologicznej→***PR16_P1_Postępowanie z odpadami promieniotwórczymi.***

10. Monitorowanie narażenia personelu – dozymetria indywidualna obejmująca pomiar dawki skutecznej (całe ciało), w zależności od stanowiska pracy także pomiar dawek równoważnych na dłonie (pielęgniarki, sanitariuszki, pracownia radiochemiczna) i soczewki oczu (pracownia radiochemiczna).

Odczytu dawkomierzy indywidualnych dokonuje Laboratorium posiadające akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA nr AB 1317) w oparciu o własną procedurę badawczą PB-dawki. Pozostałe przyrządy pomiarowe – radiometry i dawkomierze elektroniczne – wzorcowane są raz w roku w Laboratorium posiadającym akredytację PCA (nr AP 057).

11. Uczestniczenie w szkoleniach z zakresu ochrony radiologicznej – wstępnych, okresowych.

12. Przestrzeganie procedur opisanych w systemie zarządzania jakością obowiązujących w NIO-PIB: Zakładka ZDZ(ISO) → ***PR14.4_Udzielanie świadczeń w zakresie medycyny nuklearnej.***

13. W przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego postępowanie zgodnie z procedurami zakładowego planu postępowania awaryjnego:

Zakładka ZDZ(ISO)→ PR16_Zarządzanie systemem ochrony radiologicznej → ***PR16_K1A_Postępowanie Awaryjne w przypadku zdarzeń radiacyjnych.***

Potencjalne sytuacje awaryjne w zakładzie medycyny nuklearnej:

- pożar,
- pęknięcie generatora technetowego,
- skażenie powierzchni roboczych, pomieszczeń i sprzętu substancjami promieniotwórczymi,
- skażenie pracownika, pacjenta lub osób postronnych substancją promieniotwórczą,
- kradzież źródła promieniotwórczego,
- utrata (np. zgubienie) źródła promieniotwórczego,
- zalanie pomieszczenia ze źródłami promieniotwórczymi.

Ochrona radiologiczna w zakładach diagnostyki obrazowej

W zakładach radiologii źródłami promieniowania jonizującego są **urządzenia radiologiczne**:



Mammograf



Tomograf komputerowy



Aparat rentgenowski z ramieniem C



Aparat rentgenowski

Organizacja pracowni rentgenowskiej zapewniająca bezpieczeństwo pracownikom:

1. **Dobór właściwej aparatury;**
2. **Stąła kontrola parametrów fizycznych urządzeń radiologicznych** - przeglądy techniczne, testy: eksploatacyjne (odbiorcze, specjalistyczne i podstawowe);
3. **Przestrzeganie zasad dotyczących dobrej praktyki klinicznej:**
 - eliminacja badań klinicznie nieuzasadnionych,
 - zastępowanie badań z użyciem promieniowania jonizującego innymi metodami obrazowania typu USG, rezonans magnetyczny (tam gdzie jest to możliwe),
 - zachowanie minimalnej liczby zdjęć potrzebnych na jedno badanie,
 - wykorzystywanie wyników badań wcześniej wykonanych,
 - używanie fluoroskopii tylko w niezbędnych przypadkach (grafia zamiast skopii),

- redukcja badań powtórzonych i odrzuconych przez stosowanie unieruchomień, precyzyjne ułożenie pacjenta i dokładne przygotowania badania;
4. **Stosowanie ochrony radiologicznej pacjenta**, (w tym personelu) przez:
 - kolimację wiązki i ograniczanie pole promieniowania,
 - minimalizowanie czasu ekspozycji,
 - osłanianie narządów nie będących przedmiotem badania i stosowanie kompresji badanych narządów (np. w przypadku wykonywania mammografii).
 5. **Stosowanie osłon stałych** (ściany, drzwi, okna), ruchomych (parawany) i osobistych (fartuchy, kryzy na tarczycę);
 6. **W radiologii zabiegowej, gdzie źródłem narażenia dla personelu jest pacjent, należy:**
 - maksymalnie zwiększać odległość między lampą rentgenowską a pacjentem,
 - zmniejszać odległość między pacjentem a wzmacniaczem obrazu,
 - ograniczać czas fluoroskopii, stosować fluoroskopię pulsacyjną o najmniejszej liczbie ramek (umożliwiającą uzyskanie obrazu o zadowalającej jakości),
 - unikać projekcji ukośnych (powodują wzrost powierzchniowej dawki wejściowej),
 - unikać stosowania geometrycznego powiększenia obrazu,
 - stosować kolimację wiązki promieniowania do obszaru zainteresowania,
 - unikać trzymania rąk w środku wiązki pierwotnej (zwiększa to parametry ekspozycji: kV i mA, a tym samym dawkę dla pacjenta i personelu.
 - stosować ustawienie aparatu rentgenowskiego zgodnie z układem „lampa pod stołem, wzmacniacz nad stołem”.
 - stosować podstawowe zasady antyradiacyjne typu: **czas, osłona i odległość**.
 7. **Monitorowanie narażenia personelu** - dozymetria indywidualna, środowiskowa; Odczytu dawkomierzy indywidualnych dokonuje Laboratorium posiadające akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA nr AB 1317) w oparciu o własną procedurę badawczą PB-dawki. Pozostałe przyrządy dozymetryczne wzorcowane są raz w roku w Laboratorium posiadającym akredytację PCA (nr AP 057).
 8. **Szkolenia z zakresu ochrony radiologicznej** – wstępne i okresowe;
 9. Systematyczne przeprowadzanie klinicznych audytów wewnętrznych.
 10. **Przestrzeganie procedur systemu zarządzania jakością** obowiązujących w NIO-PIB: Zakładka ZDZ(ISO) → **PR15.1_Zarządzanie Zakładem Radiologii**.
 14. W przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego postępowanie zgodnie z procedurami zakładowego planu postępowania awaryjnego:
Zakładka ZDZ(ISO)→ PR16_Zarządzanie systemem ochrony radiologicznej → **PR16_K1A_Postępowanie Awaryjne w przypadku zdarzeń radiacyjnych**.

Potencjalne sytuacje awaryjne w zakładzie radiologii:

- zagrożenie zdrowia lub życia pacjenta,
- usterka systemu związana z ciągłą emisją wiązki promieniowania,
- pożar lub dym,
- awaria zasilania.

Oslony ruchome i stałe



Parawany



Drzwi, okna wglądowe

Oslony indywidualne



OSŁONA TARCZYCY
0,50 mm Pb



OKULARY OCHRONNE
0,50 mm Pb



REKAWICE MITT
0,50 mm Pb



Ochrona radiologiczna w zakładach radioterapii (teleradioterapia i brachyterapia)

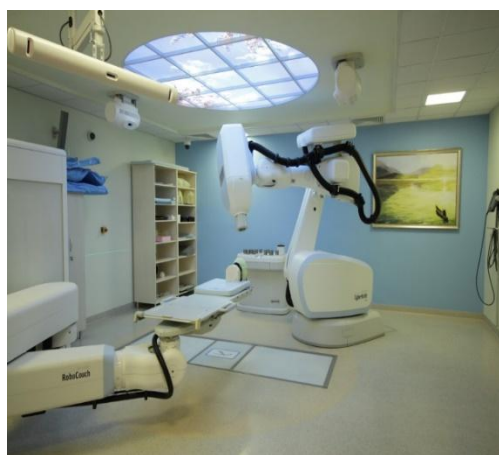
W **teleradioterapii** wykorzystuje się promieniowanie ze źródeł zewnętrznych. Nośnikami energii mogą być zarówno wiązki fotonowe jak i elektronowe. Energie zależą od wartości napięć przyspieszających elektrony.

1. **Radioterapia kilowoltowa 60-400kV**
2. **Radioterapia megawoltowa (1,25-25 MeV)** - promieniowanie X o wysokiej energii generowane w przyśpieszaczu liniowym (4-25 MeV), elektrony (6-22 MeV)
3. **Radioterapia hadronowa** (protony, jony węgla)

W zakładach teleradioterapii źródłami promieniowania są: akceleratory liniowe, tomografy do planowania leczenia /symulatory, Gamma Knife, CyberKnife.



Akcelerator liniowy

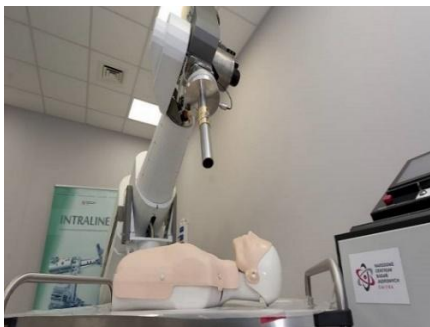


CyberKnife

Brachyterapia polega na bezpośrednim napromienieniu zmian chorobowych poprzez umieszczenie źródła promieniowania jonizującego w chorej tkance lub w bezpośrednim jej sąsiedztwie, przez naturalnie istniejący bądź stworzony kanał dostępu. Dzięki temu możliwe jest napromienianie z bliska, lokalnie, małego obszaru oraz dostosowanie dawki do rozmiaru i kształtu targetu. Pozwala to na oszczędzenie tkanek zdrowych otaczających tkanki chore i okolic znajdujących się w sąsiedztwie, a tym samym ograniczenie skutków ubocznych leczenia. Odmiany brachyterapii:

- wewnątrztkankowa: umieszczenie źródła promieniowania w guzie,
- wewnątrzjamowa: umieszczenie źródła promieniowania w bezpośrednim sąsiedztwie guza przy użyciu naturalnych otworów w ciele (jama ustna, drogi rodne);
- powierzchniowa: umieszczenie źródła promieniotwórczego np. na skórze;
- śródnaczyniowa: źródła promieniotwórcze umieszczane są w naczyniach krwionośnych,
- brachyterapia śródoperacyjna.

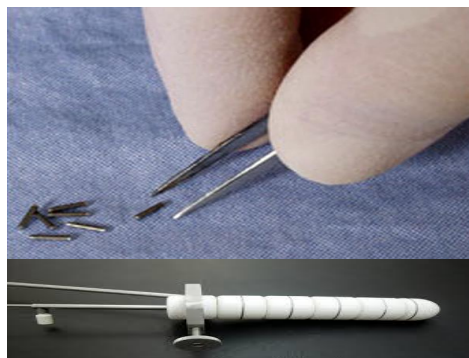
W zakładach brachyterapii źródłami promieniowania są: urządzenia do brachyterapii z wysokoaktywnymi źródłami promieniotwórczymi (Ir^{192} -Microselectron PDR/HDR, Flexitron HDR), tomografy do planowania leczenia/symulatory, akceleratory śródoperacyjne.



Akcelerator śródoperacyjny



MicroSelectron PDR/HDR



Aplikator śródjamowy

W zakładach radioterapii istotą ochrony radiologicznej jest:

1. **Stosowanie osłon** stałych zabezpieczających personel i pomieszczenia sąsiadujące z pracowniami terapeutycznymi, skutecznie pochłaniające promieniowanie pierwotne, rozproszone, uboczne, neutronowe. Geometria ustawienia osłon stałych wyklucza możliwość padania pierwotnej wiązki promieniowania jonizującego na drzwi do pomieszczenia do napromieniania.
2. Wejście do pracowni wyposaża się w **sygnalizację świetlną** informującą o włączeniu zasilania aparatu lub akceleratora wysokim napięciem lub umieszczeniu źródła promieniotwórczego w pozycji roboczej.
3. **Odpowiednia wentylacja** - w pomieszczeniach terapeutycznych zapewnia się co najmniej 6-krotną wymianę powietrza na godzinę.
4. **Konstrukcja drzwi** – powinna umożliwiać ich otwarcie od wewnątrz i od zewnątrz pomieszczenia do napromieniania.
5. Pomieszczenia terapeutyczne powinny posiadać **systemy blokujące** i uniemożliwiające przypadkowe wejście do pomieszczenia terapeutycznego – w pracowniach akceleratorowych stosuje się system uniemożliwiający włączenie zasilania aparatu wysokim napięciem przy otwartych drzwiach do pomieszczenia do napromieniania.
6. W brachyterapii (pracowniach klasy Z) stosuje się system powodujący **umieszczenie źródeł w pozycji ochronnej**, przy otwieraniu drzwi do pomieszczenia do napromieniania.
7. Spełnia się wymagania dotyczące urządzeń do napromieniania i wykorzystywanych urządzeń pomocniczych:
 - konstrukcja systemów do radioterapii powinna umożliwiać natychmiastowe wykrywanie wadliwych komponentów oraz ich naprawę lub zastąpienie sprawnymi elementami,
 - instrukcje obsługi, procedury awaryjne i zalecenia dotyczące specyfikacji pracy powinny być napisane w języku zrozumiałym dla użytkownika i dostarczone wraz z urządzeniem,
 - aparatura powinna podlegać stałym kontrolom autoryzowanego serwisu, należy przestrzegać terminów kontroli oraz wykonywać zalecenia pokontrolne,

- blokady bezpieczeństwa zintegrowane z urządzeniem mogą być wyłączone na potrzeby serwisowania i konserwacji wyłącznie przez upoważniony personel techniczny posiadający odpowiednie oprzyrządowanie, kody i klucze,
- kontrola dawki promieniowania i mocy dawki promieniowania z użyciem dwóch niezależnych od siebie torów dozymetrycznych
- 8. **Systematyczne sprawdzanie parametrów fizycznych urządzeń** (testach eksploatacyjne.
- 9. W zakładach radioterapii dla każdego urządzenia prowadzi się *Rejestr eksploatacji*, w którym zapisuje się wszystkie nieprawidłowości i awarie urządzenia.
- 10. **Codziennie testy bezpieczeństwa:** sprawdzanie blokad drzwi, przełączników ruchu, sygnalizacji świetlnej i wyłączników awaryjnych.
- 11. **Testy QA** sprawdzające moc dawki i energie powinny być wykonywane codziennie. W brachyterapii testy QA obejmują pomiar aktywności źródła, położenie źródła i jego integralność z systemem.
- 12. Prowadzenie i analiza *Rejestru błędów technicznych i dozymetrycznych*.
- 13. Systematycznie przeprowadzane audyty kliniczne wewnętrzne.
- 15. **Przestrzeganie procedur** systemu zarządzania jakością obowiązujących w NIO-PIB: Zakładka ZDZ(ISO) →
PR14.1_Udzielanie świadczeń w zakresie radioterapii (W.K. Roentgena 5),
PR14.2_Udzielanie świadczeń w zakresie brachyterapii,
PR23_Zarządzanie Pracownią Przygotowania, Planowania i Leczenia Napromienianiem (ul. Wawelska 15)
PR22_Zarządzanie Zakładem Fizyki Medycznej,
- 16. **Monitorowanie narażenia personelu** – dozymetria indywidualna obejmująca pomiar dawki skutecznej (całe ciało) i środowiskowa.
- 17. **Monitorowanie narażenia personelu** - dozymetria indywidualna, środowiskowa;
 Odczytu dawkomierzy indywidualnych dokonuje Laboratorium posiadające akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA nr AB 1317) w oparciu o własną procedurę badawczą PB-dawki. Pozostałe przyrządy dozymetryczne wzorcowane są raz w roku w Laboratorium posiadającym akredytację PCA (nr AP 057).
- 18. **Uczestniczenie w szkoleniach** z zakresu ochrony radiologicznej – wstępnych, okresowych.
- 19. W brachyterapii obowiązuje Zarządzanie źródłami wysokoaktywnymi (Załącznik nr 4).
- 20. W przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego postępowanie zgodnie z procedurami zakładowego planu postępowania awaryjnego:
 Zakładka ZDZ(ISO)→ PR16_Zarządzanie systemem ochrony radiologicznej →
PR16_K1A_Postępowanie Awaryjne w przypadku zdarzeń radiacyjnych.

Potencjalne sytuacje awaryjne w zakładzie radioterapii (teleradioterapia i brachyterapia):

- pożar lub zadymienie,
- awaria zasilania,
 - zagrożenie zdrowia lub życia pacjenta,
 - zalanie pomieszczenia ze źródłami promieniowania,
 oraz:

teleradioterapia

- awaria systemu: niemożność zakończenia emisji wiązki (nadmierne napromienienie lub niedopromienienie pacjenta),
- kolizja między ramieniem aparatu a stołem terapeutycznym lub innym sprzętem.

brachyterapia

- źródło nie wycofało się do głowicy aparatu po upływie czasu napromieniania;
- kradzież źródła promieniotwórczego,
- utrata(np.zgubienie)źródła promieniotwórczego.

Zarządzanie źródłami wysokoaktywnymi

Źródło wysokoaktywne – zamknięte źródło promieniotwórcze zawierające izotop promieniotwórczy, którego aktywność jest równa wartości poziomu progowego aktywności P2 podanej w ustawie Prawo atomowe (załączniku nr 2) lub wyższa od niej.

Zakłady NIO-PIB stosujące źródła wysokoaktywne:

- Zakład Fizyki Medycznej (kobalt Co^{60}),
- Samodzielna Pracownia Serologii Transfuzjologicznej z Bankiem Krwi (Cs^{137}),
- Zakład Brachyterapii (Ir^{192})



Theratron_kobalt Co^{60}



Gammacell_ Cs^{137}



Flexitron HDR_ Ir^{192}

Zarządzanie i kontrola źródeł wysokoaktywnych obejmuje obowiązki:

1. Posiadania umowy na odbiór źródła wysokoaktywnego po zakończeniu działalności ze źródłem (tzw. umowa HASS zawierana z dostawcą źródła albo producentem, lub Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych - ZUOP). Umowa zawiera jest jednocześnie z umową na licencjonowanie stosowania źródła wysokoaktywnego;
2. Ewidencjonowania źródeł (karty ewidencyjne należy bezzwłocznie po wejściu w posiadanie źródła wysłać do Państwowej Agencji Atomistyki);
3. Wykonywanie kontroli szczelności (nie rzadziej niż raz w roku) i sporządzenie protokołu szczelności;
- 3.2. W przypadku źródeł wymienianych co 3 miesiące (Zakład Brachyterapii) kontrolę szczelności należy wykonywać przy każdej wymianie źródła. Dokumentacja źródła wysokoaktywnego dostarczanego przez dostawcę powinna zawierać protokół kontroli szczelności tego źródła;
4. Zabezpieczenie fizyczne źródeł przez kradzież utratą, użyciem przez osoby nieupoważnione poprzez zastosowanie zamków, drzwi ograniczenie i kontrolę dostępu do pracowni ze źródłami promieniotwórczymi (dostęp tylko dla osób upoważnionych);
5. Posiadanie indywidualnego hasła dostępu do oprogramowania lub pracowni i nieudostępnianie go, aby uniemożliwić użycie źródła przez osoby nieupoważnione;
6. Obowiązek wylogowania aparatury lub zamknięcia pracowni po wykonanej procedurze z użyciem źródła promieniotwórczego;
7. Upoważnieni pracownicy do odbioru dostawy nowego źródła i oddania zużytego;
8. Wykorzystanie źródła zgodnie z przeznaczeniem;
9. Po zakończeniu pracy ze źródłem promieniotwórczym obowiązek oddania źródła do dostawcy/producenta lub do ZUOP - zgodnie z warunkami umowy HASS.