

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Podstawowe wielkości dozymetrii promieniowania jonizującego

Jakub Ośko

Na podstawie materiałów dr inż. Piotra Tulika

System wielkości i jednostek stosowany w dozymetrii i ochronie radiologicznej

- **wielkości fizyczne**
opisujące pole promieniowania
- **wielkości dozymetryczne**
charakteryzujące ilość energii przekazanej przez promieniowanie
- **równoważniki dawki**
uwzględniające różnice skuteczności biologicznej różnych rodzajów promieniowania
- **wielkości charakteryzujące ryzyko dla zdrowia**
uwzględniające dane epidemiologiczne dotyczące wrażliwości na promieniowanie poszczególnych narządów ludzkich

Funkcje wielkości dozymetrycznych

- **przepisy - limity**
- **pomiary wielkości**
- **ocena narażenia**
- **rejestracja narażenia**

Wielkości fizyczne

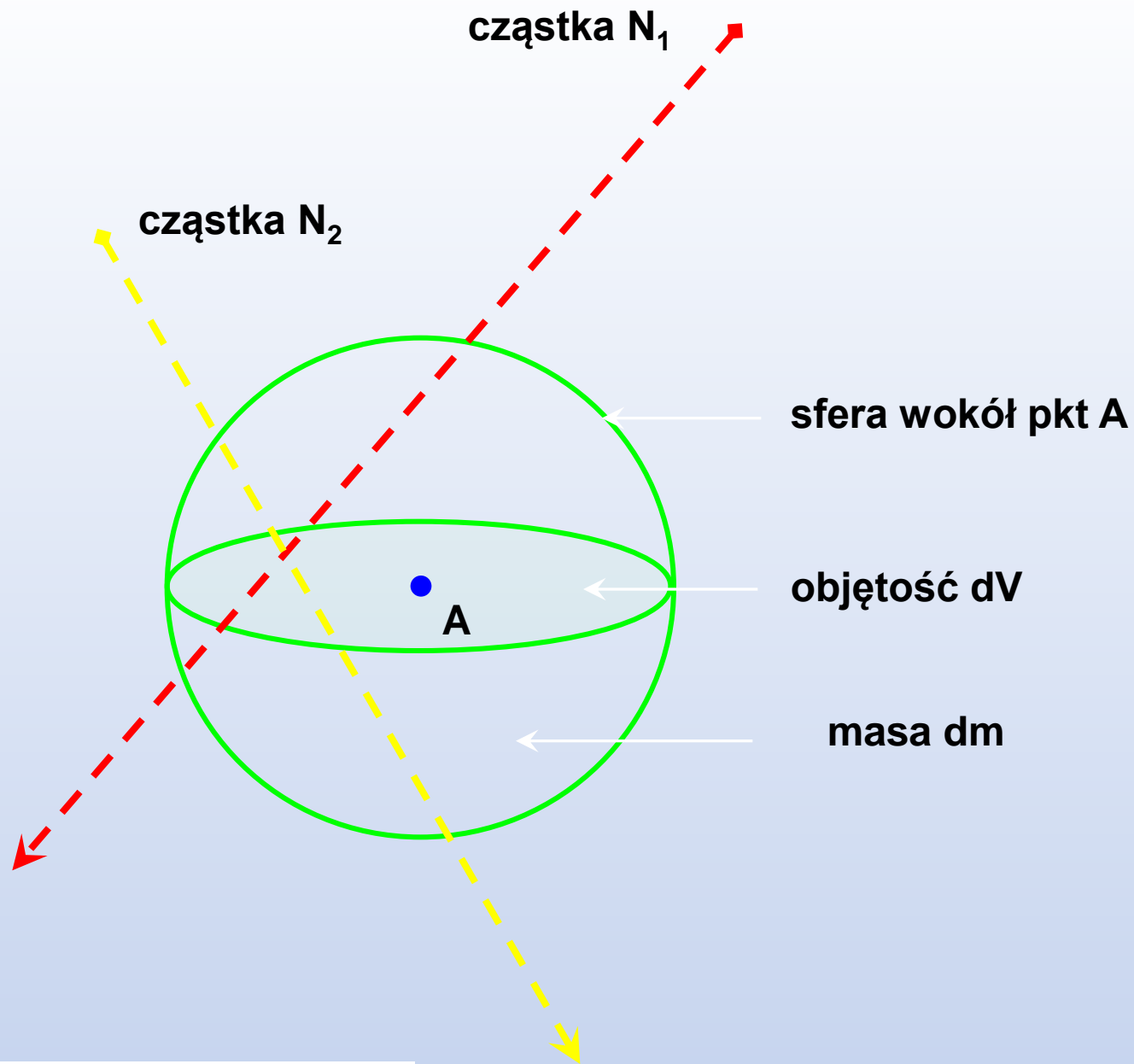
Fluencja cząstek (Φ)

Iloraz dN przez da , gdzie dN jest liczbą cząstek, które weszły do kuli o polu wielkiego koła da

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Jednostka: [m^{-2}]

Jeżeli do punktu A dochodzą dwie wiązki promieniowania od źródeł S_1 i S_2 , to wynikowa fluencja Φ w punkcie A jest równa sumie fluencji Φ_1 i Φ_2 promieniowania odpowiednich źródeł.



Gęstość strumienia cząstek (φ)

Iloraz $d\Phi$ przez dt , gdzie $d\Phi$ jest przyrostem fluencji cząstek w przedziale czasu dt

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt}$$

Jednostka: [$m^{-2} s^{-1}$]

Aktywność

Liczba wyemitowanych cząstek na sekundę

Jednostka: [Bq = s⁻¹]

Wielkości dozymetryczne

Dawka

PN 92/J-01003/05:

**Termin ogólny, oznaczający dawkę pochłoniętą,
mogący również oznaczać np. równoważnik dawki.**

Ekspozycja (X)

Dawka ekspozycyjna

Iloraz dQ przez dm , gdzie dQ jest wartością bezwzględną sumy ładunków jonów jednego znaku, wytworzonych przez fotony w suchym powietrzu, gdy wszystkie elektrony uwolnione w powietrzu o masie dm zostaną całkowicie w powietrzu zahamowane

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

Jednostka: [C kg⁻¹]

dawna jednostka: Roentgen [R]

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

Moc ekspozycji (\dot{X})

Iloraz dX przez dt , gdzie dX jest przyrostem dawki ekspozycyjnej w przedziale czasu dt

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

Jednostka: [C kg⁻¹ s⁻¹]

dawna jednostka: Roentgen na jednostkę czasu

Dawka pochłonięta (D)

Jest to średnia energia, jaką traci promieniowanie, a pochłania ośrodek, przez który promieniowanie przechodzi, przypadająca na jednostkę masy tego ośrodka.

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

Jednostka: grej [Gy]

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

dawna jednostka: rad [rd]
/ roentgen absorption dose /
 $1 \text{ rd} = 10^{-2} \text{ J kg}^{-1} = 10^{-2} \text{ Gy}$

Roentgen [R] może być przeliczany na dawkę pochłoniętą w powietrzu wyrażaną w Grejach [Gy]

$$1 \text{ R} = 0,00877 \text{ Gy} = 8,77 \text{ mGy}$$

Energia przekazana

Jest to energia przekazana przez promieniowanie jonizujące materii w danej objętości

$$E = \sum R_{in} - \sum R_{out} + \sum Q$$

Jednostka: [J]

gdzie:

- $\sum R_{in}$ – suma energii, z wyjątkiem energii spoczynkowej cząstek jonizujących, które weszły do danego obszaru;
- $\sum R_{out}$ – suma energii, z wyjątkiem energii spoczynkowej cząstek jonizujących, które wyszły z danego obszaru;
- $\sum Q$ – różnica energii uwolnionej w przemianach jąder i cząstek elementarnych, jakie dokonały się w danym obszarze i energii zużytej na wywołanie tych przemian.

Moc dawki pochłoniętej (\dot{D})

Iloraz dD przez dt , gdzie dD jest przyrostem dawki pochłoniętej w przedziale czasu dt

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

Jednostka: [Gy s⁻¹]

dawna jednostka: rad na jednostkę czasu

Czynniki mające wpływ na efekt napromieniania żywego organizmu

- dawka pochłonięta;
- rozkład dawki w czasie
- rodzaj promieniowania
- wielkość napromienionego obszaru ciała;
- jaki narząd lub tkanka zostały napromienione
- rodzaj napromienienia
- wrażliwość osobnicza i gatunkowa

**Wpływ niektórych z powyższych czynników został uwzględniony
w kolejnych pojęciach dawek**

Wielkości charakteryzujące ryzyko dla zdrowia

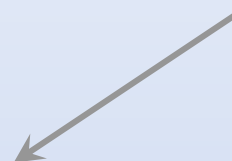
**DAWKA
POCHŁONIĘTA**



**CZYNNIK WAGOWY
PROMIENIOWANIA**
 W_R



**DAWKA
RÓWNOWAŻNA**



**CZYNNIK WAGOWY
TKANKI**
 W_T



**DAWKA
SKUTECZNA
(EFEKTYWNA)**

**DAWKA
POCHŁONIĘTA**



**CZYNNIK WAGOWY
PROMIENIOWANIA**
 W_R



**DAWKA
RÓWNOWAŻNA**

Czynnik wagowy promieniowania (w_R)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 18 stycznia 2005r.

Dz. U. z dn. 3 lutego 2005r. poz. 168

Rodzaj promieniowania i zakres energii, R	w_R
Fotony, wszystkie energie	1
Elektrony i miony, wszystkie energie	1
Neutrony, energia: poniżej 10 keV	5
od 10 keV do 100 keV	10
od 100 keV do 2 MeV	20
od 2 MeV do 20 MeV	10
powyżej 20 MeV	5
Protony z wyłączeniem protonów odrzutu, energia powyżej 2 MeV	5
Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jądra	20

Czynnik wagowy promieniowania (w_R)

Rodzaj promieniowania i zakres energii, R	w_R
Fotony	1
Elektrony i miony	1
Protony i piony naładowane	2
Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jony	20
Neutrony $E < 1$ MeV	$2,5 + 18,2 e^{-[\ln(E)]^2/6}$
Neutrony $1 \text{ MeV} \leq E \leq 50 \text{ MeV}$	$5 + 17 e^{-[\ln(2E)]^2/6}$
Neutrony $E > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25 e^{-[\ln(0,04E)]^2/6}$

Uwaga: Wszystkie wartości dotyczą przypadku napromienienia ciała, lub – dla źródeł napromienienia wewnętrznego – promieniowania emitowanego przez nuklidy promieniotwórcze wewnątrz ciała.

Dawka równoważna (H_T)

Dawka pochłonięta w tkance lub w narządzie T ,
ważona dla rodzaju i energii promieniowania R

$$H_T = W_R D_{T,R}$$

gdzie:

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

W_R - współczynnik wagowy

Jednostka: sievert [Sv]

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

Dawka równoważna (H_T)

Jeżeli pole promieniowania składa się z różnych rodzajów promieniowania o różnych wartościach w_R , to całkowita dawka pochłonięta musi być podzielona na odpowiednie składowe, z których każda jest związana z konkretną wartością w_R

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

gdzie:

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

w_R - współczynnik wagowy

Jednostka: siwert [Sv]

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

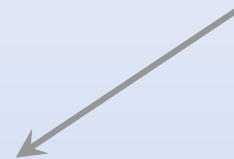
**DAWKA
POCHŁONIĘTA**



**CZYNNIK WAGOWY
PROMIENIOWANIA**
 w_R



**DAWKA
RÓWNOWAŻNA**



**CZYNNIK WAGOWY
TKANKI**
 w_T



**DAWKA
SKUTECZNA
(EFEKTYWNA)**

**CZYNNIK WAGOWY
TKANKI W_T**

**DAWKA
RÓWNOWAŻNA**

**DAWKA
SKUTECZNA
(EFEKTYWNA)**

Wagowy czynnik tkanki (w_T)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 18 stycznia 2005r.

Dz. U. z dn. 3 lutego 2005r. poz. 168

Tkanka (narząd), T	w_T ¹⁾	w_T ICRP2007
Gonady	0,20	0,08
Czerwony szpik kostny	0,12	0,12
Jelito grube	0,12	0,12
Płuco	0,12	0,12
Żołądek	0,12	0,12
Pęcherz moczowy	0,05	0,04
Gruzoły piersiowe	0,05	0,12
Wątroba	0,05	0,04
Przetyk	0,05	0,04
Tarczycza	0,05	0,04
Skóra	0,01	0,01
Powierzchnia kości	0,01	0,01
Pozostałe	0,05 ^{2), 3)}	0,012

- 1) Wartości wyznaczone dla reprezentatywnej grupy osób, o jednakowej liczbie przedstawicieli obu płci i o szerokim zakresie przedziału wieku, przy definiowaniu dawki skutecznej, mogą być stosowane niezależnie od płci dla narażonych pracowników oraz ogółu ludności.
- 2) Do celów obliczeniowych pozycja "pozostałe" obejmuje następujące tkanki (narządy): nadnercza, mózg, górną część jelita grubego, jelito cienkie, nerki, mięśnie, trzustkę, śledzionę, grasicę, macicę lub inne, które mogą zostać napromienione selektywnie.
- 3) W wyjątkowych przypadkach, kiedy pojedyncza tkanka (narząd) należąca do pozycji "pozostałe" otrzymuje dawkę równoważną przekraczającą największą dawkę w dowolnym z wymienionych w tabeli dwunastu narządów, dla których wyznaczono określone wartości w_T należy, dla takiej tkanki (narządu) zastosować czynnik wagowy równy 0,025 oraz czynnik 0,025 do średniej dawki w reszcie tkanek (narządów) pozycji "pozostałe".

Dawka skuteczna /efektywna/ (E)

Suma dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia, wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich współczynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała.

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

gdzie:

H_T – dawka równoważna;

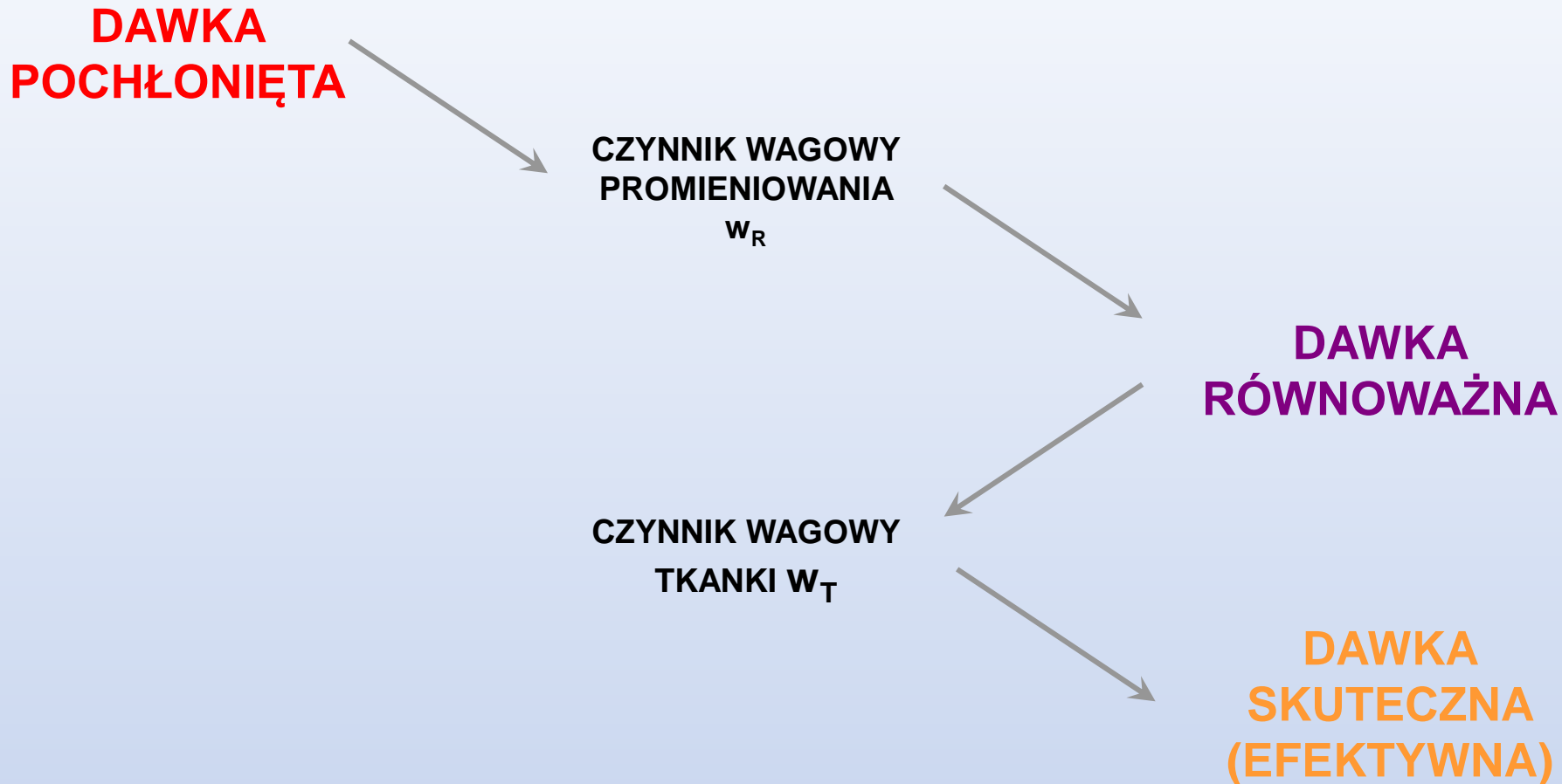
w_T – czynnik wagowy tkanki (narządu).

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

w_R - współczynnik wagowy

Jednostka: siwert [Sv]

Wielkości charakteryzujące ryzyko dla zdrowia



Zarówno dawka równoważna jak i dawka efektywna są praktycznie niemierzalne, przede wszystkim ze względu na konieczność wyznaczenia dawek w poszczególnych narządach konkretnej osoby poruszającej się w polu promieniowania.

Zazwyczaj nie jest też znany skład i widmo energii cząstek padających na ciało człowieka, co czyni problematycznym wyznaczenie współczynników w_R .

Wielkości operacyjne

**DAWKA
POCHŁONIĘTA**



**WSPÓLCZYNNIK
JAKOŚCI
PROMIENIOWANIA**
Q



**RÓWNOWAŻNIK
DAWKI**

Równoważnik dawki (H)

Iloczyn dawki pochłoniętej D w określonym punkcie tkanki i współczynnika jakości promieniowania Q

$$H = Q \times D$$

Jednostka: siwert [Sv]

dawna jednostka: rem [rem]
/ *ang. roentgen equivalent man* /
 $1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ J kg}^{-1} = 10^{-2} \text{ Sv}$

Współczynnik jakości promieniowania (Q)

PN 92/J-01003/02:

Współczynnik uwzględniający zależność, prawdopodobieństwa wystąpienia stochastycznych skutków biologicznych, od rodzaju i energii promieniowania, stosowany przy określeniu równoważnika dawki.

Współczynnik jakości jest wielkością bezwymiarową;

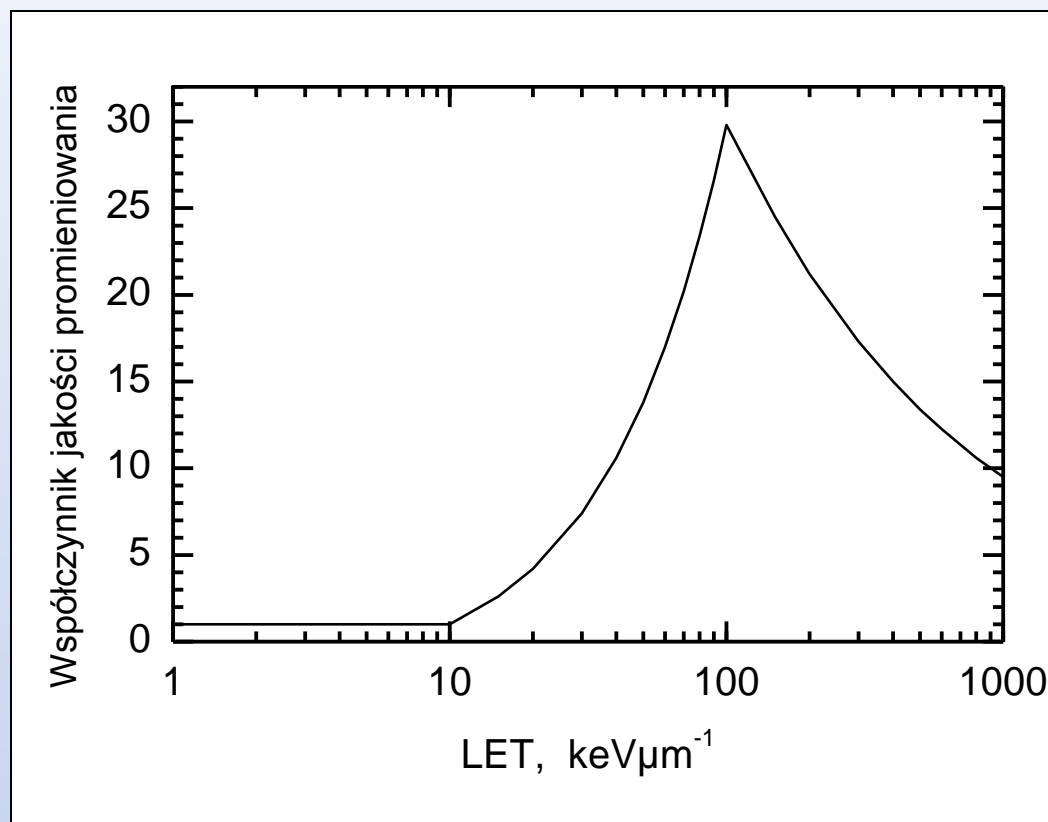
przy określeniu równoważnika dawki przypisuje mu się miano Sv/Gy

Współczynnik jakości promieniowania (Q)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 18 stycznia 2005r.

Dz. U. z dn. 3 lutego 2005r. poz. 168

L w wodzie [keV μm^{-1}]	Q(L)
< 10	1
10 ÷ 100	0,32 L – 2,2
> 100	$300 \sqrt{L}$



Liniowe przekazanie energii (L; LET)

Określone dla danego materiału jest dla cząstek naładowanych ilorazem dE przez dl , gdzie dE jest energią traconą podczas przejścia odległości dl przez cząstkę naładowaną, wskutek zderzeń z elektronami, przy których straty energii są mniejsze od określonej wartości Δ

$$L_{\Delta} = \left(\frac{dE}{dl} \right)_{\Delta}$$

Jednostka: [J m⁻¹]

Jednostką legalną jest także: [eV m⁻¹]

Liniowe przekazanie energii (L; LET)

Promieniowanie	Energia	LET [keV/mm]
Prom. X	250 keV	3,0
	3 MeV	0,3
Co-60	1,17 i 1,33 MeV	0,3
β^-	10 keV	2,3
Neutrony	1 MeV	0,25
	2,5 MeV	20
	19 MeV	7
Protony	2 MeV	16
α	5 MeV	100
Fragm. rozsz.	wysoka	5000

Moc równoważnika dawki (\dot{H})

Iloraz dH przez dt , gdzie dH jest przyrostem równoważnika dawki w przedziale czasu dt

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

Jednostka: [Sv s⁻¹]

dawna jednostka: rem na jednostkę czasu

Wielkości operacyjne

**DAWKA
POCHŁONIĘTA**



**WSPÓLCZYNNIK
JAKOŚCI
PROMIENIOWANIA**
Q



**RÓWNOWAŻNIK
DAWKI**



WIELKOŚCI OPERACYJNE

- przestrzenny równoważnik dawki $H^*(d)$
- kierunkowy równoważnik dawki $H'(d, \Omega)$
- indywidualny równoważnik dawki $H_p(d)$

Wielkości robocze ICRU

Dla celów praktycznej ochrony radiologicznej wprowadzono tzw. wielkości robocze (ICRU 1995, 1998), które są mierzalne i umożliwiają ocenę dawki efektywnej.

W zależności od roli spełnianej w ochronie radiologicznej, wielkości te można podzielić na dwie klasy:

- Wielkości służące do monitorowania zewnętrznych pól promieniowania, czyli do oceny narażenia *a priori*. Na podstawie tych pomiarów opracowuje się regulaminy pracy i wylicza bezpieczny czas przebywania ludzi w poszczególnych strefach pola promieniowania.
- Wielkości służące do kontroli indywidualnej, czyli do sprawdzenia *a posteriori*, jaką dawkę dana osoba rzeczywiście otrzymała w pewnym okresie czasu.

Wielkości służące do monitorowania zewnętrznych pól promieniowania

- przestrzenny równoważnik dawki, $H^*(d)$
w przypadku promieniowania przenikliwego
- kierunkowy równoważniki dawki, $H'(d, \Omega)$
w przypadku promieniowania słabo przenikliwego

Przestrzenny równoważnik dawki $H^*(d)$

Przestrzenny równoważnik dawki w pewnym punkcie pola promieniowania jest to taki równoważnik dawki, który byłby wytworzony przez odpowiednie pole rozciągnięte i zorientowane w kuli ICRU na głębokości d wzdłuż promienia ustawionego w kierunku przeciwnym do kierunku pola.

Jednostka: siwert [Sv]

Dla promieniowania przenikliwego
zaleca się stosowanie głębokości $d = 10$ mm,

podstawową wielkością roboczą jest $H^*(10)$

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

Kierunkowy równoważnik dawki, jest zdefiniowany w ten sam sposób, ale wyznaczany wzdłuż promienia wyznaczającego określony kierunek Ω .

Jednostka: siwert [Sv]

W przypadku promieniowania słabo przenikliwego zaleca się

$d = 0,07$ mm dla oceny dawki równoważnej na skórę

oraz

$d = 3$ mm dla dawki równoważnej w soczewkach oczu.

Kula ICRU

Fantom symulujący ciało ludzkie.

Jest to kula z o średnicy 30 cm i gęstości 1 g/cm^3 , wykonana z materiału równoważnego tkance o składzie masowym: 76,2% tlenu, 11,1% węgla, 10,1% wodoru i 2,6% azotu.

W kuli tej określa się punkt odniesienia a następnie definiuje się pewną sytuację modelową, zakładającą że w całej kuli panują warunki *pola rozciągniętego i zorientowanego*, czyli pola promieniowania, gdzie fluencja i jej rozkład energetyczny są takie same jak wartości dla pola rzeczywistego w punkcie odniesienia, ale pole jest równoległe, o wyróżnionym kierunku.

Pole rozciągle

PN 92/J-01003/02:

Hipotetyczne pole promieniowania, w którym fluencja cząstek, ich rozkład energii oraz ich rozkład kątowy wewnątrz określonej objętości pomiarowej są takie same jak w rzeczywistym polu promieniowania w rozpatrywanym punkcie.

Pole zorientowane

PN-92/J-01003/02:

Hipotetyczne pole promieniowania, w którym wszystkie cząstki poruszają się w jednym kierunku.

Wielkości służące do kontroli indywidualnej

INDYWIDUALNY RÓWNOWAŻNIK DAWKI $H_p(d)$

zdefiniowany jako równoważnik dawki pochłoniętej w tkankach miękkich na głębokości d poniżej określonego punktu ciała.

Zalecane wartości głębokości d są takie same, jak w przypadku monitorowania pól zewnętrznych, a pomiarów dokonuje się za pomocą odpowiednio wzorcowanych dawkomierzy indywidualnych.

Przepisy

Dawki graniczne

Wartość dawki promieniowania jonizującego, wyrażona jako dawka skuteczna lub dawka równoważna dla określonych grup osób, pochodząca od kontrolowanej działalności zawodowej, której, poza przypadkami przewidzianymi w ustawie,

NIE WOLNO PRZEKROCZYĆ

Dawki graniczne

W przypadku napromienienia nierównomiernego tzn. gdy dla danego izotopu promieniotwórczego najbardziej narażony na promieniowanie jest narząd lub tkanka) dawka graniczna będzie wyrażona jako dawka równoważna w narządzie lub tkance.

Jeżeli natomiast dany izotop powoduje napromienienie równomierne lub napromienieni kilku narządów lub tkanek to dawkę graniczną wyrażamy jako dawkę skuteczną (dawkę na całe ciało).

Dawki graniczne

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

Dawki graniczne nie obejmują:

- **narażenia na promieniowanie naturalne jeżeli narażenie to nie zostało zwiększone w wyniku działalności człowieka**
- **narażenia osób poddawanych działaniu promieniowania jonizującego w celach medycznych**

Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 18 stycznia 2005 r.

w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego

Dz. U. z dn. 3 lutego 2005 r. poz.: 168

	dawka skuteczna [mSv/rok]	dawka równoważna [mSv/rok]		
		oczy	skóra*	dłonie, przedramiona, stopy, podudzia
osoby narażone zawodowo oraz praktykanci i studenci (uczniowie) w wieku 18 lat i powyżej	20**	150	500	500
praktykanci i studenci (uczniowie) w wieku od 16 do 18 lat	6	50	150	150
osoby z ogółu ludności oraz praktykanci i studenci (uczniowie) w wieku poniżej 16 lat	1***	15	50	

**) jako wartość średnia dla dowolnej powierzchni 1 cm² napromienionej części skóry;*

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

****) dawka może być w danym roku kalendarzowym przekroczona, pod warunkiem że w ciągu kolejnych pięciu lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy 5 mSv.*

Dawki graniczne

- **Wyznaczając dawki skuteczne, zmniejsza się je o dawki wynikające z naturalnego tła promieniowania jonizującego na danym terenie**
- **Wyznaczanie dawek dla pracowników jest dokonywane na podstawie pomiarów dozymetrycznych**
- **Wyznaczanie dawek dla osób z ogółu ludności obejmuje: oszacowanie dawek związanych z napromieniowaniem zewnętrznym oraz oszacowanie wniknięcia substancji promieniotwórczych do organizmu**

Dawka skuteczna /efektywna/ (E)

oceniana dla przepisów - limity

Suma dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia, wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich współczynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała.

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

gdzie:

H_T – dawka równoważna;

w_T – czynnik wagowy tkanki (narządu).

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

w_R – współczynnik wagowy

Jednostka: siwert [Sv]

Dawka skuteczna (efektywna) (E)

oceniana przy kontroli indywidualnej

Dawka skuteczna (E) związana z narażeniem (zewnątrznym lub wewnętrznym) na promieniowanie jonizujące dla osób w grupie wiekowej g

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

gdzie:

E_Z – dawka skuteczna od narażenia zewnętrznego;

$e(g)_{j,p}$ i $e(g)_{j,o}$ – oznaczają jednostkowe obciążające dawki skuteczne dla osób w grupie wiekowej g, to znaczy obciążające dawki skuteczne (w Sv), jakie otrzymują w wyniku wnikięcia do ich organizmu drogą pokarmową (indeks p) lub drogą oddechową (indeks o) jednostkowej aktywności (1Bq) nuklidu j;

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

Obciążająca dawka równoważna $H_T(\tau)$

Jeżeli znana jest dawka równoważna pochodząca od narażenia wewnętrznego w tkance lub narządzie, otrzymana w jednostce czasu, czyli pochodna H_T tej dawki względem czasu, wtedy obciążającą dawkę równoważną otrzymaną w czasie τ określa wzór:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \dot{H}_T dt$$

gdzie:

t_0 – oznacza moment wniknięcia nuklidu; jeżeli wartość τ jest nieokreślona, jako czas całkowania należy przyjąć okres 50 lat (lub – w przypadku dzieci – czas od momentu wniknięcia do osiągnięcia przez nie wieku 70 lat)

Roczne wniknięcie graniczne (ALI)

ang. Annual Limit on Intake

IAEA BSS/96

International Basic Safety Standards

IAEA Safety Series No 115. 1996:

Wniknięcie danego nuklidu promieniotwórczego w ciągu roku drogą pokarmową, oddechową lub przez skórę u człowieka umownego powodujące dawkę obciążającą równą odpowiedniej dawce granicznej.

ALI wyrażone jest w jednostkach aktywności.

Pochodne stężenie radionuklidu w powietrzu (DAC)

ang. Derived Air Concentration

**Podane w przepisach stężenie (w Bq na metr sześcienny)
substancji promieniotwórczych w powietrzu
odpowiadające rocznemu wchłonięciu granicznemu ALI
przy 40 godzinnym tygodniu pracy.**

Limity pochodne

- odpowiednie stężenia izotopów promieniotwórczych w powietrzu, wodzie i innych mediach
- skażenia powierzchniowe
- wartość mocy równoważnika dawki określające nadzorowane lub kontrolowane rejony
- wartości aktywności określające poziomy przyjęte w klasyfikacji odpadów promieniotwórczych lub wyłączające te materiały spod nadzoru radiologicznego

Wielkości związane z narażeniem wewnętrznym

Przedmiotem oceny, z punktu widzenia narażenia wewnętrznego człowieka będą radionuklidy, które wniknęły do organizmu człowieka drogą pokarmową, oddechową, poprzez rany lub innymi sposobami.

Efektywny okres półtrwania (T_{eff})

$$T_{\text{eff}} = \frac{T_{1/2} \cdot T_b}{T_{1/2} + T_b}$$

gdzie:

- T_b – biologiczny czas usuwania z organizmu połowy wchłoniętej aktywności izotopu – czas w którym z przyczyn metabolicznych połowa ilości izotopu przebywającego w ustroju zostaje przez ustrój samorzutnie usunięta
- $T_{1/2}$ – fizyczny (promieniotwórczy) okres półrozpadu danego izotopu

KERMA (K) (Kinetic Energy Released per unit Mass)

PN-92/J-01003/02:

Iloraz dE_{tr} przez dm , gdzie dE_{tr} jest sumą początkowych energii kinetycznych cząstek naładowanych, uwolnionych w materiale o masie dm przez cząstki pośrednio jonizujące

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

Jednostka: grej [Gy]

Współczynniki przeliczeniowe

dla ^{137}Cs

kerma w powietrzu / dawka ekspozycyjna

$$K_{\text{air}} / X \quad 8,77 \text{ mGy/R}$$

$$(1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg})$$

przestrzenny równoważnik dawki / dawka ekspozycyjna

$$H^*(10) / X \quad 10,5 \text{ mSv/R}$$

przestrzenny równoważnik dawki / kerma w powietrzu

$$H^*(10) / K_{\text{air}} \quad 1,20 \text{ Sv/Gy}$$

indywidualny równoważnik dawki / kerma w powietrzu

$$H_p(10) / K_{\text{air}} \quad 1,21 \text{ Sv/Gy}$$

dla ^{60}Co

kerma w powietrzu / dawka ekspozycyjna

$$K_{\text{air}} / X \quad 8,77 \text{ mGy/R}$$

przestrzenny równoważnik dawki / dawka ekspozycyjna

$$H^*(10) / X \quad 10,2 \text{ mSv/R}$$

przestrzenny równoważnik dawki / kerma w powietrzu

$$H^*(10) / K_{\text{air}} \quad 1,16 \text{ Sv/Gy}$$

indywidualny równoważnik dawki / kerma w powietrzu

$$H_p(10) / K_{\text{air}} \quad 1,15 \text{ Sv/Gy}$$

dla ^{241}Am

kerma w powietrzu / dawka ekspozycyjna

$$K_{\text{air}} / X \quad 8,77 \text{ mGy/R}$$

przestrzenny równoważnik dawki / dawka ekspozycyjna

$$H^*(10) / X \quad 15,3 \text{ mSv/R}$$

przestrzenny równoważnik dawki / kerma w powietrzu

$$H^*(10) / K_{\text{air}} \quad 1,74 \text{ Sv/Gy}$$

indywidualny równoważnik dawki / kerma w powietrzu

$$H_p(10) / K_{\text{air}} \quad 1,89 \text{ Sv/Gy}$$

Współczynniki przeliczeniowe podane są z niepewnością standardową nieprzekraczającą 2%

Dziękuję za uwagę 😊