

Wykład 4 - Dozymetria promieniowania jądrowego

Podstawy prawne

<http://www.paa.gov.pl/> - -> akty prawne - -> Prawo Atomowe

Tekst ujednolicony przez Departament Prawny Państwowej Agencji Atomistyki

Brzmienie ustawy obowiązujące od 25 grudnia 2008 r. uwzględniające tekst jednolity z 14 lutego 2007 r. (Dz. U. Nr 42, poz. 276) oraz zmiany wprowadzone:

- 1) ustawą z dnia 11 kwietnia 2008 r. o zmianie ustawy - Prawo atomowe (Dz. U. Nr 93, poz. 583),
- 2) ustawą z dnia 19 grudnia 2008 r. o zmianie ustawy o swobodzie działalności gospodarczej oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2009 r. Nr 18, poz. 97),
- 3) ustawą z dnia 21 listopada 2008 r. o służbie cywilnej (Dz. U. Nr 227, poz. 1505).

USTAWA

z dnia 29 listopada 2000 r.

Prawo atomowe^u

<http://www.sejm.gov.pl/>

- -> prawo
- -> internetowy system aktów prawnych
- -> szukaj
- -> promieniowanie

168

ROZPORZĄDZENIE RADY MINISTRÓW

z dnia 18 stycznia 2005 r.

w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego¹⁾

Na podstawie art. 25 pkt 1 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. — Prawo atomowe (Dz. U. z 2004 r. Nr 161, poz. 1689 i Nr 173, poz. 1808) zarządza się, co następuje:

§ 1. Rozporządzenie określa dawki graniczne promieniowania jonizującego, wskaźniki pozwalające na wyznaczenie dawek stosowane przy ocenie narażenia oraz sposób i częstotliwość dokonywania oceny narażenia:

- 1) pracowników;
- 2) osób z ogółu ludności.

§ 2. 1. Dla pracowników dawka graniczna, wyrażona jako dawka skuteczna (efektywna), wynosi 20 mSv w ciągu roku kalendarzowego, z zastrzeżeniem § 3 ust. 1.

2. Dawka, o której mowa w ust. 1, 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.

3. Dawka graniczna, wyrażona jako dawka równoważna, wynosi w ciągu roku kalendarzowego:

Czym się zajmuje dozymetria:

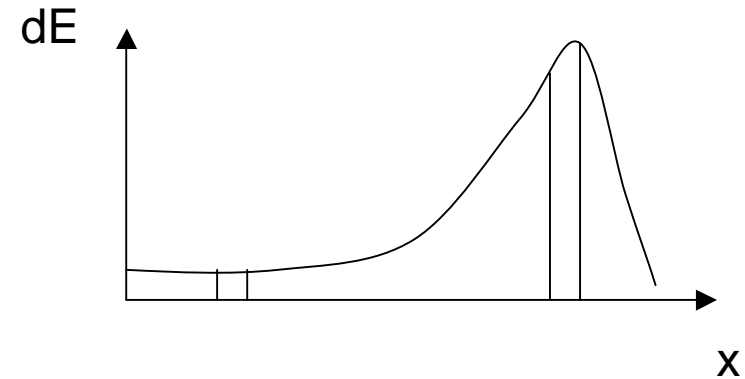
- Bada fizyczne własności promieniowania i medyczne skutki napromieniowania
- Dostarcza ilościowe miary skutków - dawka - oraz metody pomiaru dawki
- Umożliwia przewidywanie skutków – zależność dawka – skutek
- Określa normy i granice narażenia poszczególnych grup ludności

Definicje, jednostki

Dawka pochłonięta

jest podstawowym rodzajem dawki w dozymetrii.

Określa wartość energii promieniowania pochłoniętej w jednostce masy ośrodka



$$D = \frac{\bar{E}}{m}$$

gdzie: D – dawka pochłonięta,

\bar{E} – średnia energia przekazana przez promieniowanie obiektowi,

m – masa obiektu.

W układzie SI jednostką dawki pochłoniętej jest **grej (Gy)**

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

Typowe wartości dawek pochłoniętych:

1 - 100 mGy – w procedurach diagnostycznych
medycyny nuklearnej,

rzędu 1 Gy – w radioterapii w medycynie
nuklearnej

kilkadziesiąt kGy – w radiacyjnej sterylizacji
żywności.

Inna, wychodząca z użycia, jednostka
to **rad (rd)**

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$$

$$1 \text{ rd} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{g}} = 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \text{ cGy}$$

Dawka równoważna

Określa wartość dawki pochłoniętej w odniesieniu do tkanki lub narządu organizmu człowieka, z uwzględnieniem stopnia szkodliwości *danego rodzaju* promieniowania

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

H_T – tzw. **dawka równoważna** w tkance (narządzie) T ,

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

W_R – **współczynnik wagowy promieniowania.**

W_R jest bezwymiarowy, zatem wymiar fizyczny H_T jest identyczny jak $D_{T,R}$ (J/kg),

dla rozróżnienia obu rodzajów dawek, wprowadza się nową jednostkę o wymiarze J/kg zwaną **siwertem (Sv)**

$$1 \text{ Sv} = W_R \times 1 \text{ Gy} = W_R \times 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

W starym systemie jednostek mamy: **1 rem (rem)**

$$1 \text{ rem} = w_R \times 1 \text{ rad} = w_R \times 10^{-2} \text{ Gy} = 1 \text{ cSv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Wartości w_R

od 1 dla kwantów promieniowania X , γ i elektronów do 20 – dla ciężkich cząstek naładowanych (w tym cząstek α) i neutronów .

W jednostkach dawki równoważnej podawana jest część limitów dawek w normach ochrony radiologicznej,

np. w polskim Prawie Atomowym tzw. dawka graniczna dla ogółu ludności (osób postronnych), wyrażona jako dawka równoważna, wynosi dla soczewek oczu 15 mSv rocznie.

Od ang. roentgen equivalent man; często spotykana w starszej literaturze dotyczącej ochrony radiologicznej, a obecnie w U.S.A.

Dawka skuteczna (efektywna)

Określa wartość dawki równoważnej uśrednionej po głównych tkankach i narządach organizmu człowieka.

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad \text{gdzie:} \quad E(Sv) - \text{dawka skuteczna (efektywna)}$$

w_T – współczynnik wagowy tkanki (narządu) T ,

H_T – dawka równoważna w tkance (narządzie) T ,

$$\sum_T w_T = 1$$

Jaka tkanka (narząd) najwięcej "waży" w tej średniej ?

= 0.01 0.20
skóra i powierzchnia kości gonady

Podsumowując

<p>Dawka pochłonięta</p> $D = E/M$ <p>(Gy)</p>	X	<p>w_r – współczynnik wagowy promieniowania</p> <p>X,γ,β - 1 n - 5,10,20 p - 5 α - 20</p>	=	<p>Dawka równo ważna</p> $H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$ <p>(Sv)</p>	X
--	---	--	---	---	---

<p>Współczynniki wagowe tkanek</p> <p>gonady - 0.2 szpik - 0.12 wątroba - 0.05 skóra - 0.01 inne - 0.05</p>	=	<p>Dawka skuteczna</p> $E = \sum_T w_T \cdot H_T$ <p>(Sv)</p>
---	---	---

Wartości dawek w środowisku człowieka

Dawki skuteczne:

E [Sv]	Proces/obiekt/organizm
1 mSv	roczna dawka graniczna na całe ciało, norma, Polska, 1988
~ 2.2 mSv	średnia roczna od promieniowania naturalnego środowiska, Polska
~ 0.85 mSv	średnia roczna od procedur medycznych, Polska, 1995 na 1 mieszkańca
~ 1.2 mSv (w tym ~ 0.8 mSv od RTG)	średnia roczna od procedur medycznych, Polska, 1995 na 1 badanie
~ 0.3 - 9.0 mSv	rocznie, personel samolotów transkontynentalnych, 1100 godz. lotów
~ 0.3 mSv	średnia roczna od katastrofy w Czarnobylu, Polska, 1986/87
~ 200 mSv	umowna granica „małych” i „dużych” dawek
3 - 5 Sv	człowiek: śmierć 50% osób w ciągu 30 dni
~ 800 Sv	węże: śmierć 50 % osobników w ciągu 30 dni
10 000 - 15 000 Sv przetrwa bakteria <i>Deinococcus radiodurans</i> (najodporniejszy na pro-mieniowanie organizm żywy na Ziemi).

W jednostkach dawki skutecznej podawane są:

jeden z limitów dawek – tzw. dawka graniczna na całe ciało, wynosząca w polskim Prawie Atomowym 1 mSv rocznie dla osób postronnych (nie pracujących z promieniowaniem), narażonych wskutek, np. zamieszkania w pobliżu zakładu jądrowego

dawka od naturalnego promieniowania środowiska, w Polsce ok. 2.2 mSv rocznie.

Dawka zbiorowa

Określa *sumaryczną* wartość dawki skutecznej (efektywnej) dla danej populacji (grupa ludzi, naród, populacja świata).

$$S = \sum_i N_i \cdot \bar{E}_i \quad \text{gdzie:}$$

S – dawka zbiorowa,

\bar{E}_i – średnia dawka skuteczna w i -tej podgrupie populacji,

N_i – liczebność i -tej podgrupy populacji

Jednostka: **1 osobosiwert (osoboSv)**. (używana tylko w celach statystycznych)

Globalne skutki skażeń promieniotwórczych;
świat, do 1990 (ok. 100 lat)

Dawka zbiorowa, S [osoboSv/ok. 100 lat]

1. Wybuchy atomowe w atmosferze	30 000 000
2. Katastrofa w Czarnobylu	600 000
3. Energetyka jądrowa	400 000
4. Produkcja i zastosowanie radionuklidów	80 000
5. Produkcja broni jądrowej	60 000
6. Wypadki (oprócz katastrofy w Czarnobylu)	7 000
7. Podziemne wybuchy atomowe	200

Razem \approx **31 200 000** [osoboSv/ok. 100lat]
(czyli 312 000 osoboSv/rok)

dla porównania:

Promieniowanie naturalne (w roku 1990):
13 000 000 [osobo Sv/rok].

Według Raportu Komitetu Naukowego
ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego, UNSCEAR, 1993

Dawka ekspozycyjna

Dotyczy promieniowania rentgenowskiego (X)

oraz promieniowania γ .

Określa wartość ładunku elektrycznego wytworzonego przez promieniowanie (jonizacja) w jednostce masy powietrza.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

gdzie:

X – dawka ekspozycyjna od promieniowania rentgenowskiego (X) oraz promieniowania γ ,

ΔQ – suma ładunków jednego znaku wytworzonych w powietrzu, po całkowitym zatrzymaniu elektronów uwolnionych w oddziaływaniach kwantów X i γ ,

Jednostki: $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ (SI)

Δm – masa zjonizowanego powietrza.

Znaczenie praktyczne ma jednostka pozaukładowa:

1 R (rentgen) - wytworzenie jednostki elektrostatycznej ładunku w cm^3 powietrza ($1 \text{ esu} = 3.336 \times 10^{-10} \text{ C}$).

$$1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

**W powietrzu i w organizmie żywym można przyjąć, że dla promieniowania X , γ oraz β (elektrony):
w przybliżeniu $1 \text{ R} \approx 1 \text{ rd} = 0.01 \text{ Gy} \equiv 0.01 \text{ Sv}$.**

Jednostki, jednostki, jednostki

Dawka pochłonięta

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

$$1 \text{ rad} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{g}} = 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \text{ cGy}$$

Dawka równoważna

$$1 \text{ Sv} = w_R \times 1 \text{ Gy} = w_R \times 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$1 \text{ rem} = w_R \times 1 \text{ rad} = w_R \times 10^{-2} \text{ Gy} = 1 \text{ cSv}$$

Dawka ekspozycyjna

$$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$1 \text{ R} = \frac{1 \text{ es}}{\text{cm}^3} = 2.58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

na rozdzielenie pary ładunków w powietrzu potrzeba 34 eV, na rozdzielenie 1C – $34/1.602 \times 10^{-19}$

$$1 \text{ R} \rightarrow 2.58 \cdot 10^{-4} \times \frac{34}{1.602 \cdot 10^{-19}} \frac{\text{CeV}}{\text{kgC}} =$$

$$5.48 \cdot 10^{16} \frac{\text{eV}}{\text{kg}} \times 1.602 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}} \approx 9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{kg}} \approx 1 \text{ rad}$$

Dawki i moce dawek ekspozycyjnych, X

X [R/godz]	Proces/obiekt/organizm
~ 5 μ R/godz. (~ 0.05 μ Sv/godz.)	naturalne promieniowanie X oraz γ środowiska
100 - 1000 μ R/godz.	ok. 100 m od „sarkofagu”, Czarnobyl, maj 1992, (pomiar własne)
jeśli > 5 mR/godz to ewakuacja ludności wokół Czarnobyla, kwiecień/maj 1986
~ 1000 R/godz	kilkanaście m od reaktora w Czarnobylu, ok. 12 godz. po wybuchu
100 - 1000 R/godz	w „sarkofagu”, w pobliżu stopionego paliwa, 1988/89

Moc dawki pochłoniętej – kumulacja w czasie

Zdefiniujmy moc dawki pochłoniętej:

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

$\dot{D}(t)$ – moc dawki pochłoniętej
jako funkcja czasu t ,
 D – dawka pochłonięta.
Jednostką mocy dawki pochłoniętej
używaną praktycznie
jest **grej na godzinę (1 Gy/godz)**.

Współczesne dozymetry określające narażenie od zewnętrznego promieniowania X i γ , wycechowane są często w $\mu\text{Sv/godz}$.

W obliczeniach dozymetrycznych, znając moc dawki możemy przez *całkowanie* („sumowanie”) obliczyć dawkę pochłoniętą w określonym czasie t :

$$D(t) = \int_0^t \dot{D}(t) dt$$

W normach radiologicznych przyjmuje się m.in.
 $t = 1$ rok (tzw. dawka graniczna roczna).

Do obliczania dawek promieniowania gamma w celu określenia dawki równoważnej stosuje się wzór na dawkę pochłoniętą D w powietrzu:

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

gdzie

Γ_r - stała charakterystyczna dla danego izotopu – równoważna wartość stałej ekspozycyjnej (tablice)

A - aktywność źródła

t - czas narażenia

l - odległość od źródła (źródło punktowe)

k - krotność osłabienia osłony

Ważne - jednym z najprostszych sposobów zmniejszenia dawki jest oddalenie się od źródła promieniotwórczego!

Bożena Gostkowska

**Ochrona radiologiczna
Wielkości, jednostki i obliczenia**

**Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
Warszawa 2005**

można tu znaleźć jednostki, normy, przykłady obliczeń
użyteczne tabele, m. inn. wartości Γ_r i k.

Przykład 1

Obliczyć moc dawki pochłoniętej w powietrzu w odległości $l_1 = 1$ m i $l_2 = 0.25$ m od punkowego źródła promieniowania gamma ^{192}Ir o aktywności $A = 10$ GBq.

$$\dot{D} = \frac{\Gamma_r \cdot A}{l^2}$$

z tablic dla ^{192}Ir $\Gamma_r = 0.011 \text{cGyh}^{-1}\text{m}^2\text{GBq}^{-1}$

$$\text{dla } l = 1 \text{ m} \quad \dot{D} = \frac{0.011 \cdot 10}{1} \cdot \frac{\text{cGyh}^{-1}\text{m}^2\text{GBq}^{-1}\text{GBq}}{\text{m}^2} = 0.11 \text{cGyh}^{-1}$$

$$\text{dla } l = 0.25 \text{ m} \quad \dot{D} = 16 \cdot 0.11 \text{cGyh}^{-1} = 1.76 \text{cGyh}^{-1}$$

Przykład 2

W pracowni znajduje się źródło promieniowania gamma ^{60}Co o aktywności $A = 2 \text{ GBq}$. Pracownię oddziela od sąsiedniego pomieszczenia betonowa ściana o grubości $l_1 = 50 \text{ cm}$. Źródło jest oddalone od ściany o odległość $l_2 = 70 \text{ cm}$. Czy sąsiednie pomieszczenie można przeznaczyć na pokój biurowy? Czas pracy personelu $t = 40 \text{ h/tydzień}$.

z tablic dla ^{60}Co $\Gamma_r = 0.031 \text{ cGyh}^{-1}\text{m}^2\text{GBq}^{-1}$
 $k = 100$

$$D = \frac{0.031 \cdot 2 \cdot 40}{100 \cdot (0.5 + 0.7)^2} \cdot \frac{\text{cGyh}^{-1}\text{m}^2\text{GBq}^{-1}\text{GBqh}}{\text{m}^2} = 0.0172 \text{ cGy}$$

wyliczona dawka pochłonięta w powietrzu odpowiada dawce równoważnej około 0.2 mSv

norma roczna dla osób z ogółu ludności wynosi 0.1 mSv - co oznacza że nie można tego pomieszczenia przeznaczyć na pokój biurowy!

Radiologiczne skutki promieniowania. Dawki „duże” i „małe”

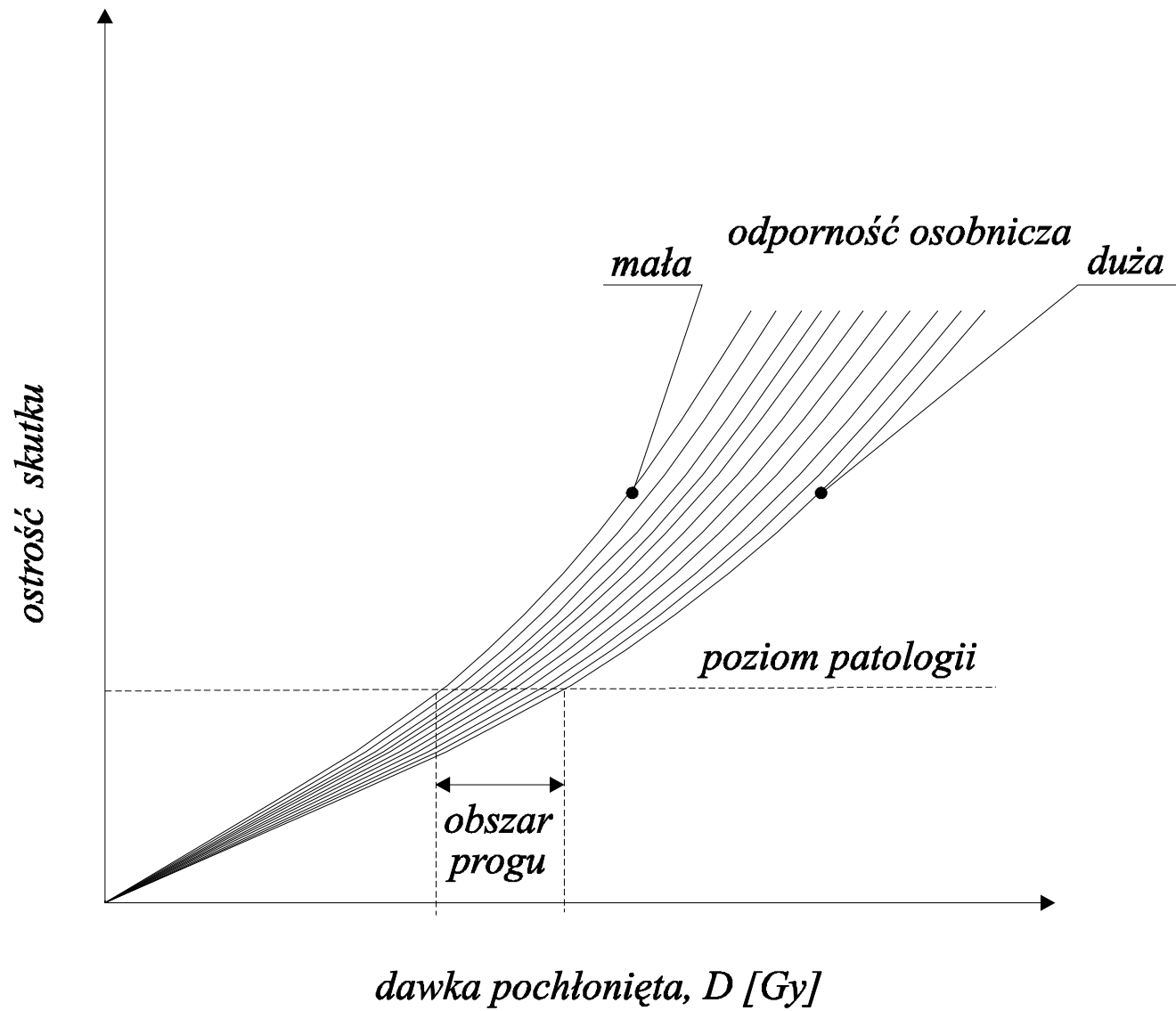
Na podstawie klasyfikacji *charakteru* skutków radiologicznych jako wartość *orientacyjną* można przyjąć

dawki „małe” < 200 mSv < *dawki „duże”*,

choć np. już przy 100 mSv występują uszkodzenia płodu ludzkiego w procesie organogenezy.

Skutki deterministyczne (ostre, choroba popromienna)

Występują wyłącznie przy „dużych” (bardzo dużych) dawkach: rumień skóry, zaburzenia przewodu pokarmowego, katarakta (zaćma), *prawdopodobieństwo* skutku jest duże (> 50% , zdarzenie „pewne”) i nie zależy od dawki *ostrość* skutku (wg kryteriów medycznych) zależy od dawki – rośnie nieliniowo z dawką istnieje **próg szkodliwości** (rzędu 1 Sv) patrz Rys. 1.



Rys. 1. Skutki deterministyczne promieniowania

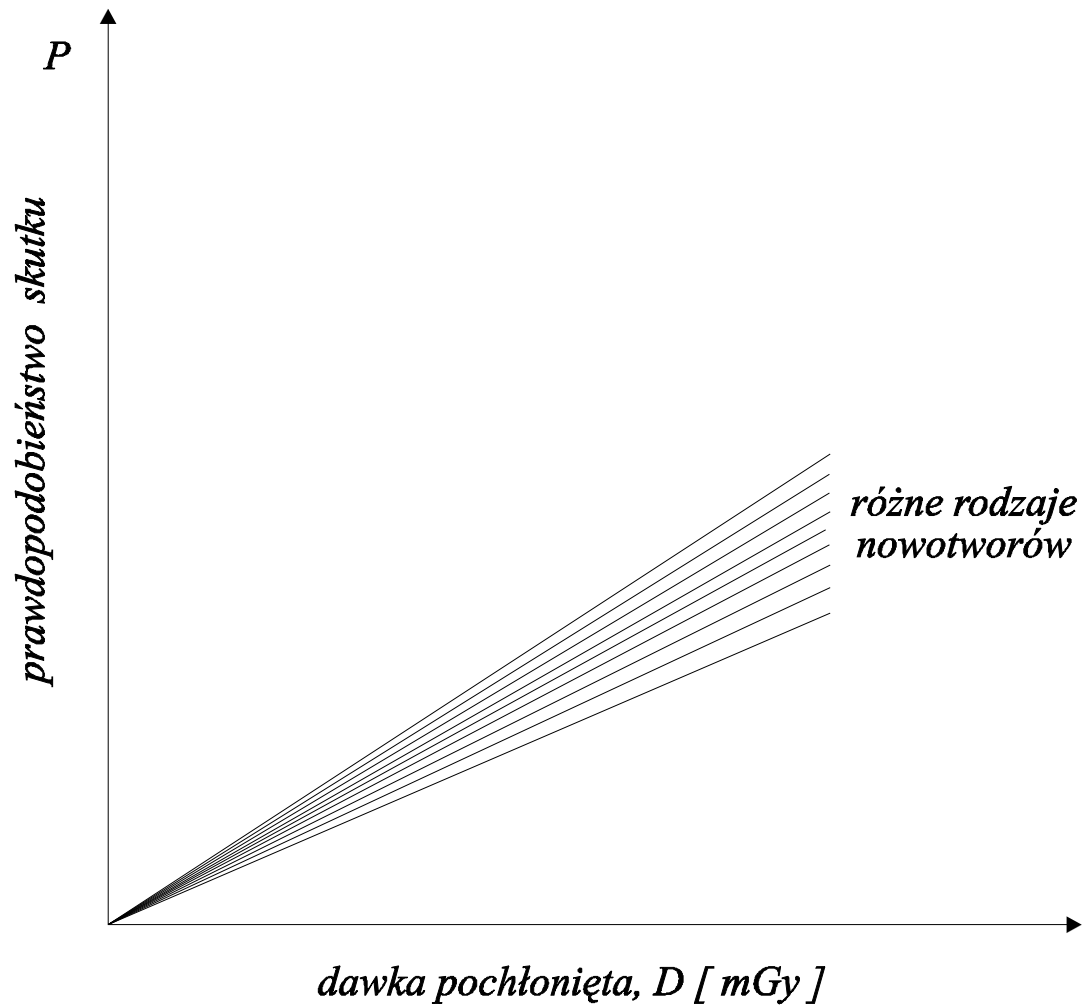
Skutki stochastyczne

występują także przy „małych” dawkach: nowotwory, zaburzenia genetyczne (dziedziczne) *ostrość* skutku nie zależy od dawki, *prawdopodobieństwo* skutku zależy od dawki → patrz Rys. 2.

Hipoteza LNT (Linear No-Threshold) (liniowa, bezprogowa)

Dla skutków stochastycznych małych dawek: zależność „dawka– skutek” jest liniowa oraz brak progu występowania skutków „każda dawka jest szkodliwa”)

Jednak wielu badaczy podważa słuszność hipotezy LNT uważając, że małe dawki promieniowania mogą mieć korzystne skutki dla organizmów żywych, jak stymulacja procesów biologicznych lub wzmocnienie własności immunologicznych.



Rys. 2. Skutki stochastyczne małych dawek promieniowania

Czasem używa się nazwy "dawka dopuszczalna", co nie jest właściwe – zgodnie z założeniem bezprogowości oddziaływania biologicznego promieniowania jonizującego (hipoteza LNT), zasadniczo żadna dawka nie jest *dopuszczalna*.

Należy przyjąć *granice* wyznaczającą obszar małego, akceptowalnego ryzyka

W zależności od procedury medycznej, dawki zastosowane u pacjenta mogą przekraczać wartości dawek granicznych, przyjmuje się bowiem, jako nadrzędną, zasadę „ostatecznej korzyści” z medycznego użycia promieniowania jonizującego.

System ochrony radiologicznej

Zasada usprawiedliwienia zastosowania promieniowania

Nie należy stosować promieniowania jonizującego, jeśli nie jest ono źródłem pożytku dla jednostki lub społeczeństwa, w stopniu wystarczającym dla zrównoważenia wywołanego przez nie uszczerbku dla zdrowia.

Zasada optymalizacji ochrony radiologicznej

W odniesieniu do dowolnego zastosowanego źródła promieniowania należy podjąć wszelkie możliwe działania, prowadzące do zapewnienia takiej ochrony przed promieniowaniem, która zapewni maksymalne korzyści przy racjonalnych kosztach, z uwzględnieniem uwarunkowań ekonomicznych i społecznych

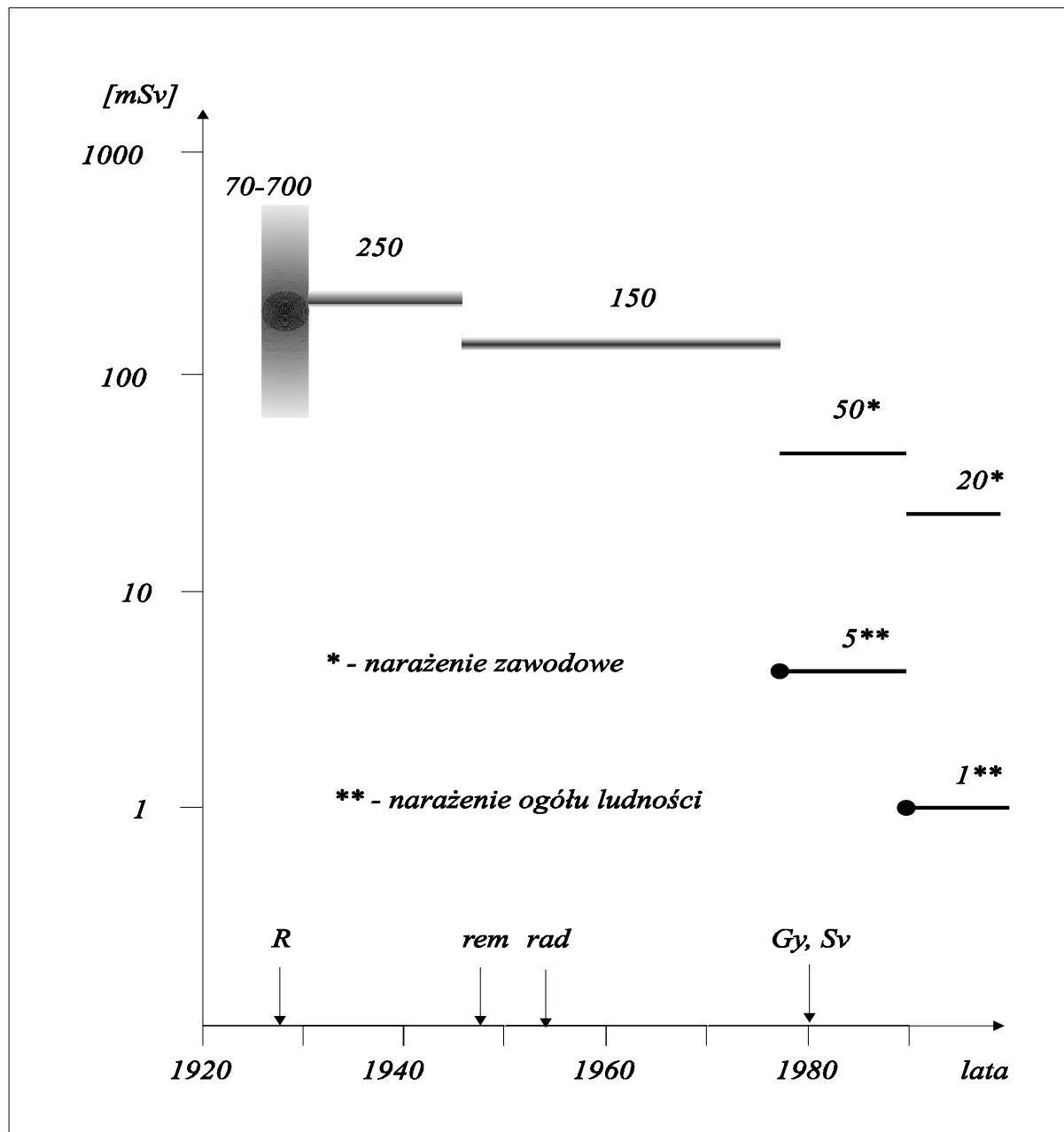
Zasada zastosowania indywidualnych dawek granicznych

Napromieniowanie poszczególnych osób, pochodzące od źródeł zastosowań promieniowania jonizującego (z wyjątkiem zastosowań medycznych) winno być ograniczane przez stosowanie limitów dawek (tzw. dawek granicznych).

System ochrony radiologicznej ma zastosowanie w trzech obszarach pracy i życia człowieka:

- narażenie zawodowe - personel medyczny i naukowy
- narażenie medyczne - pacjenci
- narażenie ogółu ludności - pozostali

Zmiany rocznych limitów dawek dopuszczalnych na przestrzeni lat



ROZPORZĄDZENIE RADY MINISTRÓW

z dnia 18 stycznia 2005 r.

w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego¹⁾

Na podstawie art. 25 pkt 1 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. — Prawo atomowe (Dz. U. z 2004 r. Nr 161, poz. 1689 i Nr 173, poz. 1808) zarządza się, co następuje:

§ 1. Rozporządzenie określa dawki graniczne promieniowania jonizującego, wskaźniki pozwalające na wyznaczenie dawek stosowane przy ocenie narażenia oraz sposób i częstotliwość dokonywania oceny narażenia:

- 1) pracowników;
- 2) osób z ogółu ludności.

¹⁾ Przepisy niniejszego rozporządzenia wdrażają postanowienia dyrektywy 96/29/Euratom z dnia 13 maja 1996 r. w sprawie podstawowych norm bezpieczeństwa dotyczących ochrony zdrowia przed promieniowaniem jonizującym pracowników i ogółu ludności (Dz. Urz. WE L 159 z 29.06.1996).

§ 2. 1. Dla pracowników dawka graniczna, wyrażona jako dawka skuteczna (efektywna), wynosi 20 mSv w ciągu roku kalendarzowego, z zastrzeżeniem § 3 ust. 1.

2. Dawka, o której mowa w ust. 1, 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.

3. Dawka graniczna, wyrażona jako dawka równoważna, wynosi w ciągu roku kalendarzowego:

- 1) 150 mSv — dla soczewek oczu;
- 2) 500 mSv — dla skóry, jako wartość średnia dla dowolnej powierzchni 1 cm² napromienionej części skóry;
- 3) 500 mSv — dla dłoni, przedramion, stóp i podudzi.

§ 5. 1. Dla osób z ogółu ludności dawka graniczna, wyrażona jako dawka skuteczna (efektywna), wynosi 1 mSv w ciągu roku kalendarzowego, przy czym dawka graniczna, wyrażona jako dawka równoważna, wynosi w ciągu roku kalendarzowego:

- 1) 15 mSv — dla soczewek oczu;
- 2) 50 mSv — dla skóry, jako wartość średnia dla dowolnej powierzchni 1 cm² napromienionej części skóry.

Dawki graniczne dla ogółu ludności, Polska

Dawka skuteczna Całe ciało, E	Dawka równoważna w tkance lub narządzie H_T
1 mSv/rok	Soczewki oczu 15 mSv/rok Inne narządy (w tym skóra) 50 mSv/rok