

Ochrona radiologiczna

czyli dlaczego (nie) powinniśmy bać się promieniowania jonizującego

Arkadiusz Bubak
Zakład Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań
Uniwersytet Śląski

Prawo atomowe
Rozdział 1
Przepisy ogólne
Art. 1.

1. Ustawa określa:

- 1) **działalność w zakresie pokojowego wykorzystywania energii atomowej związanej z rzeczywistym i potencjalnym narażeniem na promieniowanie jonizujące** od sztucznych źródeł promieniotwórczych, materiałów jądrowych, urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące, odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego;
 - 2) obowiązki kierownika jednostki organizacyjnej wykonującej tę działalność;
 - 3) organy właściwe w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej;
 - 4) zasady odpowiedzialności cywilnej za szkody jądrowe;
 - 5) zasady wypełniania zobowiązań międzynarodowych, w tym w ramach Unii Europejskiej, dotyczących bezpieczeństwa jądrowego, ochrony przed promieniowaniem jonizującym oraz zabezpieczeń materiałów jądrowych i kontroli technologii jądrowych.
- 2. Ustawa określa także kary pieniężne za naruszenie przepisów dotyczących bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz tryb ich nakładania.**
- 3. Ustawę stosuje się również do działalności wykonywanej w warunkach zwiększonego, w wyniku działania człowieka, narażenia na naturalne promieniowanie jonizujące.**
- 4. Ustawa ponadto określa zasady monitorowania skażeń promieniotwórczych i reguluje działania podejmowane w przypadku zdarzeń radiacyjnych, jak również w przypadku długotrwałego narażenia w następstwie zdarzenia radiacyjnego lub działalności wykonywanej w przeszłości.**
- 5. Ustawa określa również szczególne zasady ochrony osób przed zagrożeniami wynikającymi ze stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych.**

Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe

- [Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe.](#)
- http://www.paa.gov.pl/strona-40-prawo_krajowe.html

Akty zmieniające:

- Ustawa z dnia 25 lipca 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe
 - <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20140001162>
- Ustawa z dnia 6 lipca 2016 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe
 - <http://www.dziennikustaw.gov.pl/du/2016/1343/1>
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia **23 marca 2018** r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo atomowe (Dz.U. 2018 poz. 792)
 - Wejście w życie: 1 października 2018
 - <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180000792>



DZIENNIK USTAW
RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

Poza ustawą - Prawo atomowe w polskim systemie prawnym znajdują się **przepisy pośrednio związane** z zagadnieniami bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej zawarte są również w innych ustawach, w szczególności:

- [ustawie o przewozie towarów niebezpiecznych](#) (Akty zmieniające: [\[1\]](#)),
- [ustawie o bezpieczeństwie morskim](#) (Akty zmieniające: [\[1\]](#)),
- [ustawie o dozorze technicznym](#) (Akty zmieniające: [\[1\]](#), [\[2\]](#), [\[3\]](#), [\[4\]](#), [\[5\]](#), [\[6\]](#), [\[7\]](#), [\[8\]](#), [\[9\]](#)).

Rozporządzenia do prawa atomowego

- Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów
- Rozporządzenia Rady Ministrów
- Rozporządzenie Ministra Finansów
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji
- Rozporządzenia i zarządzenie Ministra Środowiska
- Rozporządzenia Ministra Zdrowia

Chcemy kupić na eBay detektor dymu zawierający ^{241}Am

The screenshot shows an eBay product listing for an "Ion Chamber Metal Geiger Fire Alarm Security System Source Smoke Detector Sensor". The product is priced at US \$1.62 and has 53 units sold. The listing includes a main image of the detector, a detailed view of the ion chamber with a warning label, and a gallery of smaller images. The seller is "yofunny1" with a 99.2% positive feedback rating. Shipping is free, and the estimated delivery is between Thursday, February 28 and Friday, April 12. Payment options include PayPal, VISA, MasterCard, American Express, and Discover. The listing also features a "Shop with confidence" badge and a "Buy 1, Get 1 at 5% off" promotion.

Shop with confidence
eBay Money Back Guarantee
Get the item you ordered or get your money back. [Learn more](#)

Seller information
yofunny1 (22612, ★)
99.2% Positive feedback
Save this Seller
Contact seller
Visit store
See other items

Ion Chamber Metal Geiger Fire Alarm Security System Source Smoke Detector Sensor

Condition: **New**
Quantity: More than 10 available / 53 sold

Price: **US \$1.62**

[Buy It Now](#)
[Add to cart](#)
[Add to watch list](#)

53 sold | More than 50% sold | Free shipping

Shipping: **FREE** Economy Shipping from China/Hong Kong/Taiwan to worldwide | [See details](#)
See details about international shipping here. [?](#)
Item location: Hong Kong, Hong Kong
Ships to: Worldwide [See exclusions](#)

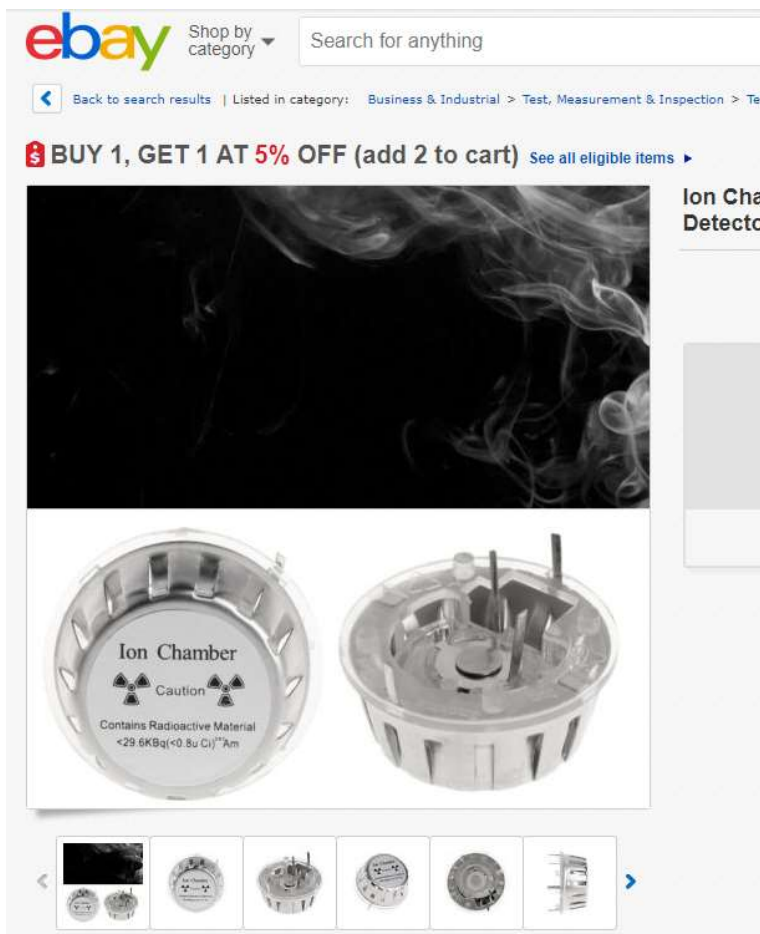
Delivery: **Estimated between Thu. Feb. 28 and Fri. Apr. 12**
Seller ships within 1 day after receiving cleared payment. [?](#)
Please note the delivery estimate is **greater than 10 business days**.

Payments: [PayPal](#) [VISA](#) [MasterCard](#) [AMERICAN EXPRESS](#) [DISCOVER](#)

PayPal CREDIT
Special financing available. [Apply Now](#) | [See terms](#)

Returns: 30 day returns. Buyer pays for return shipping | [See details](#)

Chcemy kupić na eBay detektor dymu zawierający ^{241}Am



Chcemy kupić na eBay detektor dymu zawierający ^{241}Am

Dz.U. 2001 nr 3 poz. 18

[Dziennik Ustaw](#) / [2001](#) / [3](#) / poz. 18

Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe.

Tekst ogłoszony:	D20010018.pdf 
Tekst ujednolicony:	D20010018Lj.pdf 
Status aktu prawnego:	akt posiada tekst jednolity
Data ogłoszenia:	2001-01-18
Data wydania:	2000-11-29
Data wejścia w życie:	2002-01-01
Data obowiązywania:	2002-01-01
Uwagi:	Przepisy rozdziału 13 wchodzi w życie z dniem 2 lutego 2001 r. Przepisy art. 21 ust. 2 i art. 27 ust. 2 wchodzi w życie z dniem 19 stycznia 2003 r.
Organ wydający:	SEJM
Organ uprawniony:	PREZ. RADY MINISTRÓW
Organ zobowiązany:	RADA MINISTRÓW PREZ. RADY MINISTRÓW

Dz U. 2001 nr poz 18: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20010030018>

Tekst ujednolicony: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20010030018/U/D20010018Lj.pdf>



Chcemy kupić na eBay detektor dymu zawierający ^{241}Am

Załącznik nr 2 (strona 175/182)

Poziomy progowe aktywności oraz stężenia promieniotwórczego izotopów promieniotwórczych

Izotop promieniotwórczy	Aktywność (Bq) P_1	Aktywność (Bq) P_2	Stężenie promieniotwórcze (kBq/kg)
Pu-243	10^7		10^7
Pu-244	10^4	4×10^9	1
Am-241	10^4	$10^{11}(b)$	1
Am-242	10^6		10^3
Am-242m+	10^4	10^{11}	1



Artykuł 3. punkt 55a (strona 10/182)

źródło niekontrolowane – zamknięte źródło promieniotwórcze zawierające izotop promieniotwórczy, **którego aktywność w chwili wykrycia źródła przekracza wartość poziomu progowego aktywności P_1 podaną w załączniku nr 2** do ustawy, a które nie zostało objęte nadzorem i kontrolą w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej przez organy dozoru jądrowego albo zostało nimi objęte, ale kontrola i nadzór nad tym źródłem zostały utracone, w szczególności z powodu porzucenia, zaginięcia, kradzieży albo niezgodnego z prawem przekazania źródła;

Dz U. 2001 nr poz 18: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20010030018>

Tekst ujednolicony: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20010030018/U/D20010018Lj.pdf>

Chcemy kupić na eBay detektor dymu zawierający ^{241}Am

Załącznik nr 2 (strona 175/182)

Poziomy progowe aktywności oraz stę promieniotwórczych

Izotop promieniotwórczy	Aktywność (Bq) P_1	
Pu-243	10^4	
Pu-244	10^4	
Am-241	10^4	
Am-242	10^6	
Am-242m+	10^4	

Artykuł 3. punkt 55a (strona 10/182)

źródło niekontrolowane – zamknięte źródło p **aktywność w chwili wykrycia źródła przekr** **załączniku nr 2** do ustawy, a które nie zostało c i ochrony radiologicznej przez organy dozoru ja źródłem zostały utracone, w szczególności z prawem przekazania źródła;

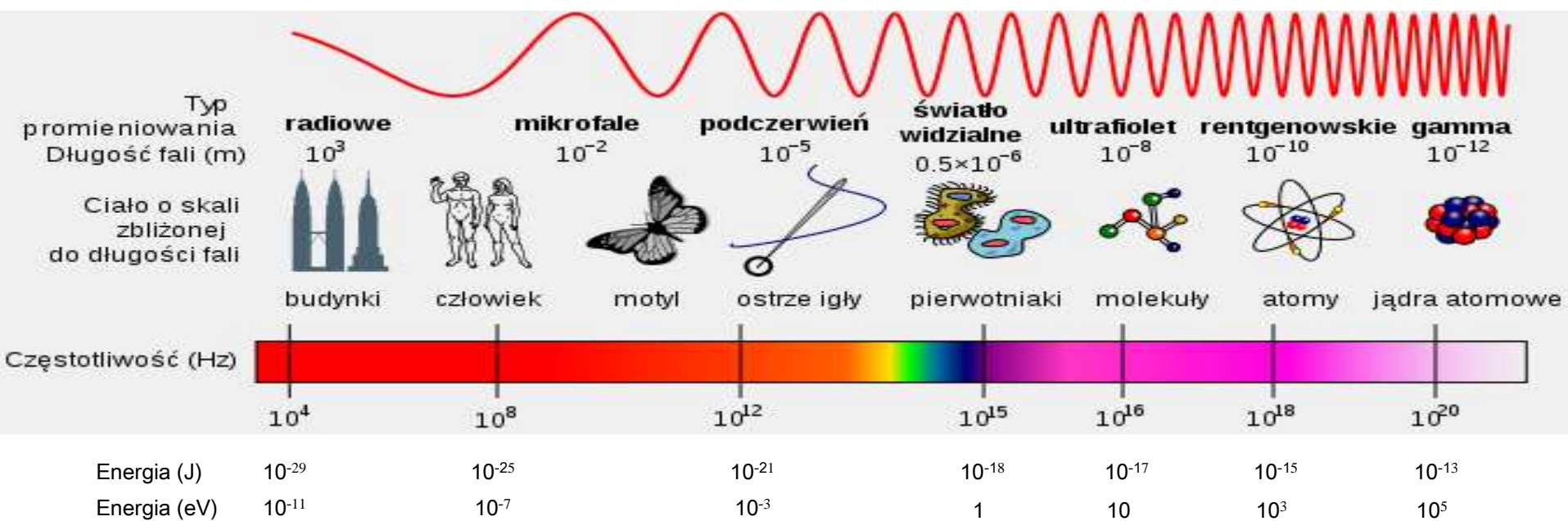
Dz U. 2001 nr poz 18: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/l>

Tekst ujednolicony: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20010030018/U/D20010018Lj.pdf>



Czym jest ochrona radiologiczna

Ochrona radiologiczna (ochrona przed promieniowaniem jonizującym) całokształt zagadnień związanych z ochroną ludzi i środowiska przed szkodliwym działaniem promieniowania jonizującego.



Człowiek znajdujący się w zasięgu promieniowania, którego skutki mogą być śmiertelne wcale tego nie odczuwa

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

w próżni:
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$[\lambda] = \text{m}, \mu\text{m}, \text{nm}, \text{Å}$
 $\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$
 $\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$
 $\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$
 $\nu = 1/\text{s} = \text{Hz}$

$$E = h\nu$$

stała Plancka:
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$[E] = \text{J}, \text{eV}$
 $1 \text{ J} = 6.242 \cdot 10^{18} \text{ eV}$
 $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Podstawowe wielkości i jednostki

Dawka pochłonięta (D)

ang. absorbed dose

$$D = \frac{E}{m}, \text{ gdzie } E - \text{energia promieniowania, } m - \text{masa} \quad [D] = \frac{J}{kg} = Gy, \quad 10^{-2} Gy = cGy = rad = \frac{100 \text{ erg}}{g}.$$

Moc dawki pochłoniętej

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}, \quad [\dot{D}] = \frac{Gy}{s}.$$

Jednostką poprzednio używaną jest:

- 1 rad = 100 erg/g = 0,01 Gy
- 1 Gy = 100 rad

Dawka ekspozycyjna, ekspozycja (X) (ang. exposure)

$$X = \frac{Q}{m}, \text{ gdzie } Q - \text{ładunek wytworzony przez promieniowanie jonizujące w powietrzu} \quad [X] = \frac{C}{kg},$$

Powszechnie używaną jednostką jest rentgen R: $R = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{C}{kg}.$

Mocą dawki ekspozycyjnej (ang. exposure rate)

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}, \quad [\dot{X}] = \frac{A}{kg}.$$



Podstawowe wielkości i jednostki

Dawka równoważna ($H_{T,R}$)

ang. equivalent dose, równoważnik dawki pochłoniętej

dawka pochłonięta w tkance lub narządzie, ważona dla rodzaju i energii promieniowania. Opisana jest wzorem :

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

gdzie:

$D_{T,R}$ - dawka pochłonięta uśredniona w tkance lub narządzie T pochodząca od promieniowania R,
 W_R - współczynnik wagowy promieniowania, który uwzględnia wpływ biologiczny na tkankę określonego promieniowania.

$$[H] = \frac{J}{kg} = Sv,$$

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}, \quad [\dot{H}] = \frac{Sv}{s}.$$

Moc równoważnika dawki

Rodzaj promieniowania i odpowiadający mu zakres energii	W_R
fotony, wszystkie energie	1
elektrony, wszystkie energie	1
neutrony: <ul style="list-style-type: none">• do 10 keV• 10 keV < E < 100 keV• 100 keV < E < 2 MeV• 2 MeV < E < 20 MeV• E > 20 MeV	5 10 20 10 5
protony z wyłączeniem protonów odrzutu	5
cząstki alfa, fragmenty rozszczepień, ciężkie jądra.	20

Sievert

Unit system	SI derived unit
Unit of	Health effect of ionizing radiation
Symbol	Sv
Named after	Rolf Maximilian Sievert

Unit conversions

1 Sv in is equal to ...
SI base units	1 m ² /s ²
Energy absorbed by mass	1 J/kg

Podstawowe wielkości i jednostki

Dawka efektywna, dawka skuteczna (E)

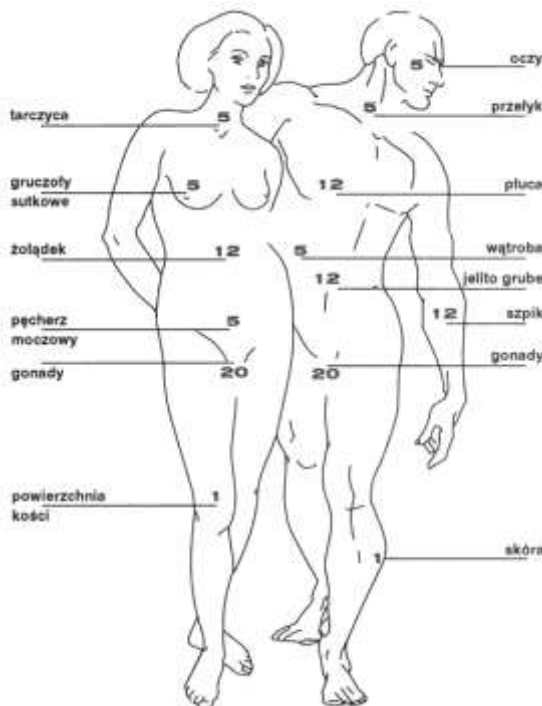
ang. effective dose, dawna nazwa: skuteczna dawka równoważna

suma ważonych dawek równoważnych od zewnętrznego i wewnętrznego napromienienia wszystkich tkanek i narządów. Określona jest wyrażeniem:

$$E_H = \sum_T H_{T,R} \cdot w_T,$$

$D_{T,R}$ - dawka pochłonięta od promieniowania R uśredniona w tkance lub narządzie T, w_T - współczynnik wagowy dla narządu lub tkanki T, w_R - współczynnik wagowy promieniowania.

$$[H] = \frac{J}{kg} = Sv.$$



współczynniki wagowe w_T dla wybranych tkanek i narządów	
skóra	0,01
powierzchnia kości	0,01
przełyk	0,05
tarczycza	0,05
wątroba	0,05
gruczoły piersiowe	0,05
pęcherz moczowy	0,05
żołądek	0,12
płuca	0,12
jelito grube	0,12
szpik kostny (czerwony)	0,12
gonady	0,2
pozostałe	0,05

$$\sum_T w_T = 1$$

wartości współczynników w_T (mnożonych przez 100) dla poszczególnych organów ciała ludzkiego.

Dawki graniczne (w mSv/rok)

Dawki graniczne dotyczą sumy rocznych dawek napromieniowania zewnętrznego i dawek od skażeń wewnętrznych
Do dawek granicznych nie zalicza się dawek otrzymanych przy wykonaniu zabiegów medycznych i dawek ze źródeł naturalnych

	Dawka skuteczna, efektywna	Dawka równoważna (Równoważnik dawki)		
		Oczy	Skóra**	Dłonie, przedramiona, stopy, podudzia
Osoby narażone zawodowo, praktykanci i studenci w wieku 18 lat i powyżej	20*	150	500	500
Praktykanci, uczniowie w wieku (16-18 lat)	6	50	150	150
Osoby z ogółu ludności	1***	15	50	-

[Dz.U. z 2005 nr 20 poz. 168](#) • Brzmienie od 18 lutego 2005

ROZPORZĄDZENIE RADY MINISTRÓW z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego

- * Np. Kobieta, od chwili zawiadomienia przez nią kierownika jednostki organizacyjnej o ciąży, nie może być zatrudniona w warunkach prowadzących do otrzymania przez mające urodzić się dziecko dawki skutecznej (efektywnej) przekraczającej wartość 1 mSv.

* Może być podniesiona do 50 mSv/rok pod warunkiem, że suma dawek w ciągu kolejnych 5 lat nie przekroczy 100 mSv

** Wartość średnia dla dowolnej powierzchni 1 cm² napromieniowanej powierzchni ciała

*** Dawka, o której mowa w ust. 1, 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 (w mSv/rok)

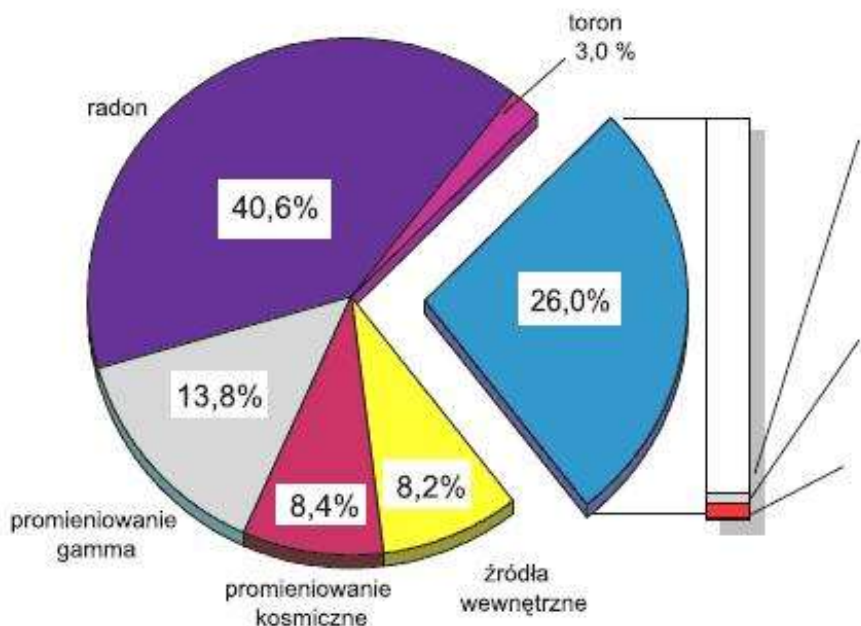
	Dawka skuteczna, efektywna	Dawka równoważna (równoważnik dawki)		
		Oczy	Skóra**	Dłonie, przedramiona, stopy, podudzia
Osoby narażone zawodowo, praktykanci i studenci w wieku 18 lat i powyżej	20*	150	500	500
Praktykanci, uczniowie w wieku (16-18 lat)	6	50	150	150
Osoby z ogółu ludności	1***	15	50	

Kraj	Dawka od uwolnień gazowych [μSv/rok]		Dawka od uwolnień ciekłych [μSv/rok]	
	Na całe ciało	Na dowolny narząd	Na całe ciało	Na dowolny narząd
Belgia	50	150	30	100
Czechy	200		50	
Finlandia	100 od promieniowania zewnętrznego i wchłaniania substancji promieniotwórczych łącznie			
Francja	1000 od promieniowania zewnętrznego i wchłaniania substancji promieniotwórczych łącznie			
Niemcy	300	1800	300	1800
Słowenia	50 od wszystkich uwolnień radioaktywnych + 200 od promieniowania zewnętrznego z urządzeń elektrowni jądrowej			
Hiszpania	100 łącznie od wszystkich emisji z elektrowni jądrowych			
Szwajcaria	300 od elektrowni jądrowych, w tym 100 z promieniowania bezpośredniego i 200 od emisji			
W. Brytania	300 od jednego bloku, 500 od elektrowni jądrowej z wieloma blokami i 1000 od wszystkich źródeł łącznie z promieniowaniem dawnych emisji, ale poza medycyną			
USA	50	150	30	100

Efektywne dawki graniczne do określenia dopuszczalnych uwolnień z EJ

* Ponadto w USA obowiązuje zasada, że należy zmniejszać dawki dla ludności, gdy koszt potrzebnych do tego środków jest mniejszy niż 100 000 \$/os-Sv²¹.

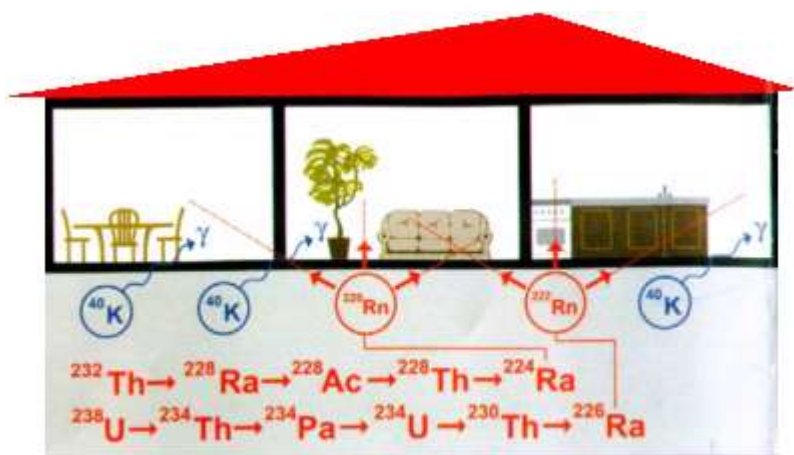
Średnie dawki (w mSv/rok)



25,4% zastosowania medyczne

0,2% awaria czarnobylska

0,4% inne
dawne wybuchy jądrowe (opad);
działalności zawodowe;
przedmioty powszechnego użytku



Składowe promieniowania	Średnie dawki [mSv/rok na osobę]	Udział procentowy [%]
Promieniowanie kosmiczne	0,290	8,0
Promieniowanie gamma z podłoża	0,040	1,1
Promieniowanie ^{222}Rn i ^{220}Rn (powietrze)	0,080	2,2
Opad promieniotwórczy po wybuchach jądrowych i Czarnobylu	0,021	0,6
Promieniowanie gamma w budynkach	0,380	10,6
Promieniowanie ^{222}Rn i ^{220}Rn oraz ich pochodnych wewnątrz budynków	1,580	43,9
Radionuklidy inkorporowane (bez radonu)	0,409	11,4
Diagnostyka rentgenowska i badania in vivo	0,780	21,7
Zagrożenia zawodowe w górnictwie	0,016	0,4
Inne (przedmioty powszechnego użytku)	0,005	0,1
Razem	3,600	100,0

Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w **średniej dawce skutecznej** otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w 2006 roku
(źródło - raport Prezesa PAA dostępny na stronie <http://www.paa.gov.pl>)

Od procesów fizycznych do skutków biologicznych

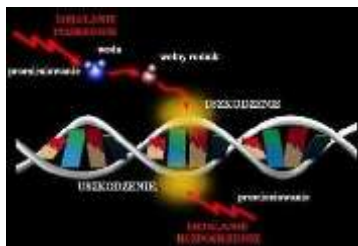
10^{14} komórek, 200 typów



Chemicznymi składnikami komórki są:

- białka (10-20%),
- lipidy (2%),
- węglowodany (1%),
- składniki mineralne (1%),
- woda (75-85%)

W napromienionych komórkach powstają **mutacje**, czyli trwałe i nie odwracalne zmiany w DNA.



Dawka wynosząca 1 Gy jest powodem średnio:

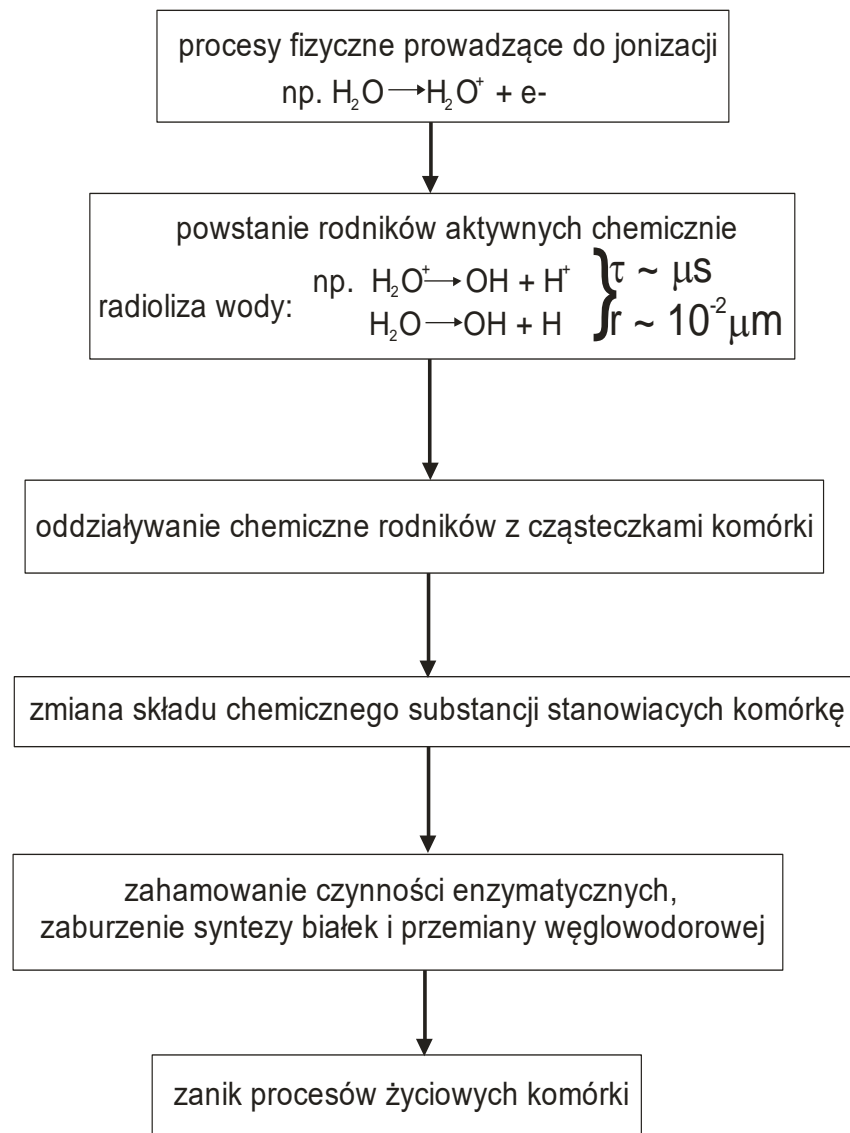
- **40 pęknięć podwójnoniciowych** i
- **1000 pęknięć jednoniciowych.**



Uszkodzenie DNA na skutek procesów metabolicznych wewnątrz komórki i czynników środowiskowych, występuje z szacowaną częstością

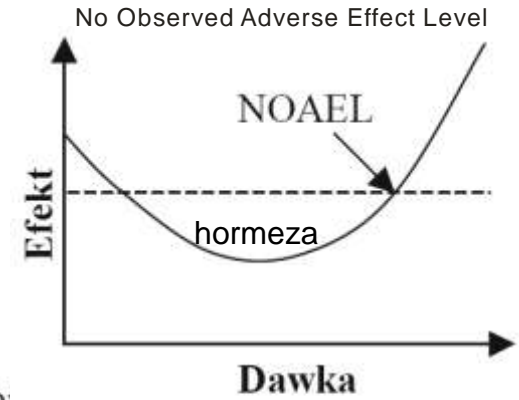
10^3 do 10^6

pojedynczych uszkodzeń cząsteczek DNA na komórkę każdego dnia.



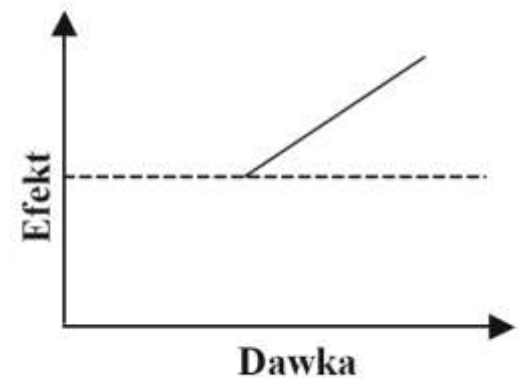
Dobroczynne skutki działania promieniowania na organizmy żywe

- zmniejszenie liczby nowotworów,
- zwiększenie średniego czasu życia,
- zwiększenie szybkości wzrostu,
- wzrost wielkości i masy ciała,
- wzrost płodności i zdolności reprodukcyjnych,
- zredukowana liczba mutacji wraz ze spotęgowaniem funkcji fizjologicznych i b:



Roczna śmiertelność kobiet w Nagasaki (na 100 000) badana w latach 1970-1976*

Wiek [lata]	Dawka [mSv]		Grupa kontrolna (nie napromieniona)
	< 5	> 10	
30 – 39	87	78	103
40 – 49	224	218	223
50 – 59	569	428	510
60 – 69	1303	833	1516
70 – 79	4161	3243	5305
>80	12626	13158	19634



Zaobserwowany pozytywny wpływ promieniowania jonizującego na organizmy żywe (wybrane przykłady*):

- **świnki morskie, dyfteryt, nienapromieniowane umierały po 24 h**
- **łośsie, 5.4 mGy/dzień, wzrost masy o 17 %**
- **jaja kurze, 6.4 Gy, szybszy wzrost**

*http://ncbj.edu.pl/zasoby/rozne/biol_skutki_promieniowania/raport13.htm

Skutki promieniowania

Przewidywane skutki biologiczne po jednorazowym napromienieniu całego ciała człowieka

Dawka [Sv]	Skutek biologiczny
0,25	Objawy kliniczne nie występują. Czasami mogą wystąpić niewielkie zmiany we krwi
0,5	Niewielkie zmiany we krwi obwodowej; bardzo małe prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1-2	Niewielkie objawy kliniczne, u 5-10% osób wymioty w ciągu kilku godzin od napromienienia; okresowe zmiany we krwi z opóźnioną odnową; duże prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych; większość objawów ustępuje po kilku tygodniach
2-3	Ciężkie objawy kliniczne, wymioty u wszystkich osób w ciągu 2 h, poważne zmiany we krwi, utrata włosów po ok. 2 tygodniach; częste następstwa późne; dawka śmiertelna dla ok. 25% napromieniowanych osób
3-5	Dawka śmiertelna dla około 50% napromieniowanych (LD50/30); ciężkie objawy kliniczne z pełnym rozwojem choroby popromiennej i wyraźnym uszkodzeniem czynności krwiotwórczych szpiku
5-7	Przeżywa 0-20% osób. Objawy ciężkiego upośledzenia szpiku Śmierć następuje w ciągu kilkunastu do kilkadziesiątu dni
10-30	Uszkodzenia układu pokarmowego z objawami krwotocznymi i odwodnienie organizmu Śmierć następuje w ciągu kilku do kilkunastu dni
50 i więcej	Zespół ośrodkowo-mózgowy, zaburzenia świadomości, oddychania i krążenia Śmierć następuje w okresie od kilkunastu godzin do 3 dni

Skutki promieniowania

Duże dawki promieniowania powodują ostrą chorobę popromienną, która rozwija się w następujący sposób:

Okres I — faza wstępna, rozpoczyna się kilka lub kilkanaście godzin po ekspozycji, trwa ok. 1-2 dni. Objawy: złe samopoczucie, niepokój, nudności, wymioty, bóle i zawroty głowy, bezsenność

Okres II — faza utajona (bezobjawowa), trwa od kilku do kilkunastu dni, brak wyraźnych objawów klinicznych skrycie rozwijającego się schorzenia

Okres III — główna faza choroby popromiennej, rozwija się po ok. 2-3 tygodniach po ekspozycji. Wracają objawy z okresu I ale znacznie silniejsze, objawy uszkodzenia wielu narządów i układów

Okres IV — okres zejściowy (śmieć lub stopniowa rekonwalescencja); powolne ustępowanie objawów chorobowych, rzadko zmiany i zaburzenia ustępują całkowicie

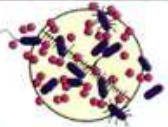











Średnie śmiertelne dawki dla różnych grup taksonomicznych

Dla opisu odporności na promieniowanie badanych populacji wprowadza się pojęcie dawki śmiertelnej (**LD** od ang. *lethal dose* lub zamiennie **DL** od łac. *dosis letalis*).

Wszystkie odmiany tej dawki zakładają:

- jednorazowe napromieniowanie w krótkim czasie (do kilku godzin) całego ciała oraz
- brak pomocy medycznej po napromieniowaniu.

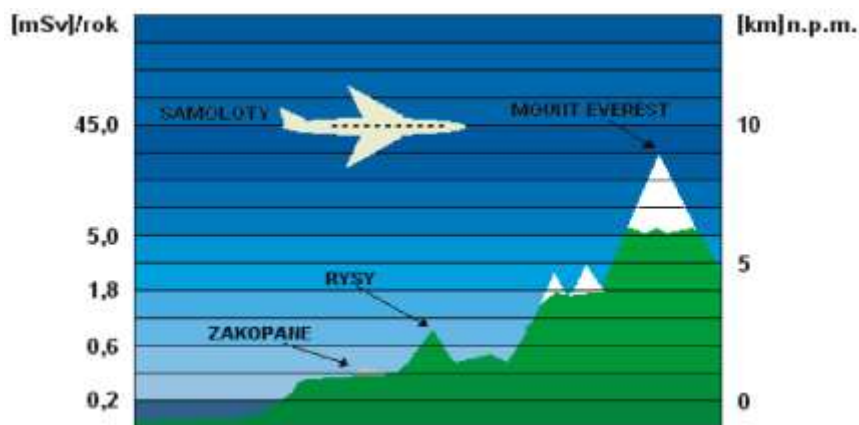
Najbardziej przydatną dla porównań jest średnia dawka śmiertelna.

Dawki LD_{50}^{30} [Sv]			
	5000		150
	1000		10
	1000		8
	800		5
	200		2,5 - 3
	8,5		2,5

Dawka promieniowania naturalnego

Źródło napromieniowania	Roczna dawka efektywna [mSv]
Promieniowanie kosmiczne	0,38
Radionuklidy kosmogeniczne	0,01
Szereg uranowo-radowy (bez radonu)	0,18
Szereg torowy (bez radonu)	0,19
Radon i krótko żyjące produkty jego rozpadu	1,27
⁴⁰ K	0,32

Średnia roczna dawka efektywna od naturalnych źródeł promieniowania w Polsce nie odbiega od średniej światowej i wynosi około 2,4 mSv



Zależność dawki promieniowania kosmicznego od wysokości nad poziomem morza.

Paryż - NY (7h 11m, 11km n.p.m.) -> 0,016mSv

Paryż - NY (sam. p..dźw. 2h 30m, 19km n.p.m.) -> 0,012mSv

Jedno badanie metodą tomografii komputerowej jamy brzusznej naraża pacjenta na ilość promieniowania porównywalną do **500 wykonanych zdjęć płuc**

Przyjmowane dawki promieniowania

0 - 1 μSv

0 μSv - używanie telefonu komórkowego,

0.05 μSv - spanie obok innej osoby,

0.10 μSv - spożycie banana,

0.11 μSv - przebywanie przez rok w promieniu 100 km od elektrowni atomowej,

0.38 μSv - przebywanie przez rok w promieniu 100 km od elektrowni węglowej,

1 μSv - prześwietlenie ręki,

1 μSv - używanie monitora CRT przez rok,

1 - 10 μSv

1.2 μSv - przebywanie przez jeden dzień na obszarze o podwyższonym poziomie promieniowania naturalnego np. Wyżyna Kolorado,

5 μSv - prześwietlenie zęba,

10 μSv - dawka promieniowania naturalnego, jaką przyjmuje przeciętny człowiek podczas jednego dnia,

10 - 100 μSv

40 μSv - lot z Nowego Jorku do Los Angeles,

70 μSv - życie w betonowym budynku przez rok,

80 μSv - średnia dawka promieniowania pochłonięta przez osobę przebywającą w odległości 15 km od elektrowni **Three Mile Island** podczas wypadku z 28 marca 1979 r.,

100 μSv - prześwietlenie klatki piersiowej,

100 - 1000 μSv

250 μSv - roczny dopuszczalny limit emisji promieniotwórczości dla elektrowni atomowej (EPA),

390 μSv - roczna dawka pochodząca z naturalnego potasu w organizmie człowieka,

1000 μSv lub 1 mSv - dopuszczalna bezpieczna roczna dawka promieniowania na jedną osobę (EPA),

1 - 10 mSv

3 mSv - mammografia,

5.8 mSv - tomografia klatki piersiowej,

6 mSv - przebywanie przez godzinę na obszarze Czarnobyla (pomiar uśredniony - dane na rok. 2010),

10 mSv - tomografia całego ciała,

Przyjmowane dawki promieniowania

10 - 100 mSv

- 20 mSv - dopuszczalna roczna dawka promieniowania dla pracownika mającego styczność z promieniowaniem w Polsce,
- 50 mSv - dopuszczalna roczna dawka promieniowania dla pracownika elektrowni atomowej w Stanach Zjednoczonych,
- 100 mSv - roczna dawka promieniowania, która wyraźnie podnosi ryzyko zachorowania na raka,
- 100 mSv - dawka graniczna dla pracowników radiologicznych i służb ratowniczych w sytuacjach wyjątkowych,

100 - 1000 mSv

- 250 mSv - dawka graniczna dla pracowników radiologicznych i służb ratowniczych podczas operacji ratowania życia w Stanach Zjednoczonych,
- 400 mSv - dawka wywołująca chorobę popromienną o ile została przyjęta w krótkim czasie,
- 420 mSv - roczna dawka dla kosmonauty na orbicie,
- 500 mSv - dawka graniczna w wyjątkowych sytuacjach dla osób uczestniczących w działaniach interwencyjnych, przy ratowaniu życia ludzkiego, (dopuszczona przez Polskie prawo na mocy prawa międzynarodowego),
- 500 mSv - zmniejszenie liczby krwinek powodujące obniżenie zdolności obronnych organizmu, powrót do pełnego zdrowia po kilku dniach. Znaczący wzrost ryzyka zachorowania na raka,
- 1000 mSv lub 1 Sv - choroba popromienna, nudności, zmniejszenie lub całkowity zanik liczby krwinek powodujące obniżenie zdolności obronnych ustroju i wystąpienie w wyniku tego ciężkich zakażeń, obniżenie lub nawet zanik krzepliwości krwi, niedotlenienie tkanek, powstanie wylewów i krwawych wybroczyn w narządach i tkankach, stwarzających niebezpieczeństwo dla życia,

1 - 10 Sv

- 2 Sv - poważna choroba popromienna, nudności i wymioty, w niektórych przypadkach może skutkować śmiercią,
- 4 Sv - bardzo poważna choroba popromienna, szansa na przeżycie tylko przy odpowiednim i długotrwałym leczeniu,
- 5 Sv - bardzo poważna choroba popromienna, wysoka śmiertelność,
- 8 Sv - dawka śmiertelna bez względu na sposób leczenia,

10 - 100 Sv

- 30 Sv - śmierć po 2-3 tygodniach,
- 50 Sv - przebywanie przez 10 minut w pobliżu rdzenia reaktora w Czarnobylu po jego stopieniu,
- 100 Sv - nagłe wymioty, śpiączka, śmierć w ciągu kilku godzin

Przyjmowane dawki promieniowania

Wskaźnikowe poziomy dawki i mocy dawki których nie należy przekraczać przy typowych badaniach diagnostycznych

Badane narządy	Typ projekcji	Wejściowa dawka powierzchniowa na jedno zdjęcie ^a [mGy]
Odcinek lędźwiowy kręgosłupa	AP	10
	LAT	30
	LSJ	40
Brzuch, urografia dożylna i cholcystografia	AP	10
Staw biodrowy	AP	10
Klatka piersiowa	PA	0,4
	LAT	1,5
Odcinek piersiowy kręgosłupa	AP	7
	LAT	20
Zęby	Okołowierzchołkow a	7
	AP	5
Czaszka	PA	5
	LAT	3
Miednica	AP	10

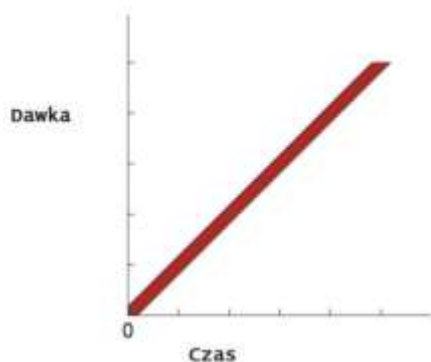
PA- projekcja tylna-przednia
AP- projekcja przednia-tylna
LAT-projekcja boczna
LSJ -zdjęcie stawów krzyżowo-biodrowych
a - w powietrzu, z uwzględnieniem rozpraszania wstecznego

Podane wartości odpowiadają standardowym układom klisza-ekran o czułości 200. Dla układów klisza ekran o dużej czułości (400-600) wartości z tabeli należy zmniejszyć dwa do trzech razy.

Jak zredukować dawkę: czas narażenia, odległość, osłony

Bezpieczny czas

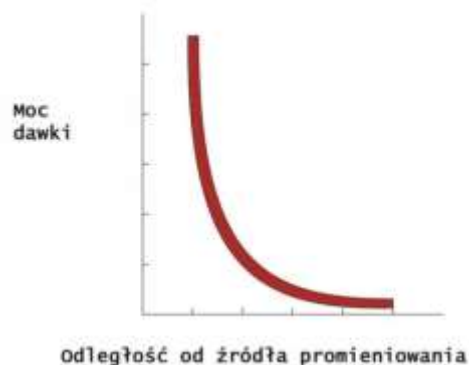
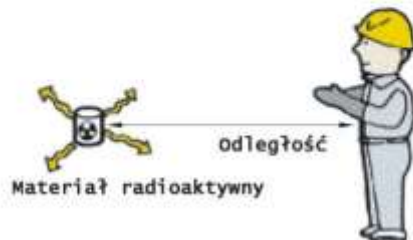
Dawka = Moc dawki x czas pracy



Otrzymana dawka jest wprost proporcjonalna do czasu narażenia.

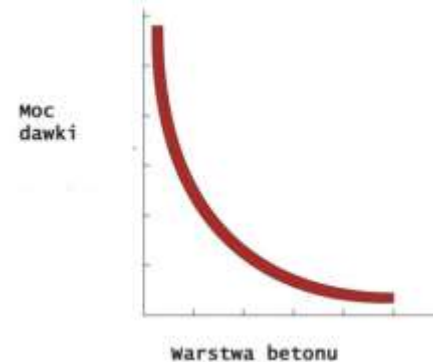
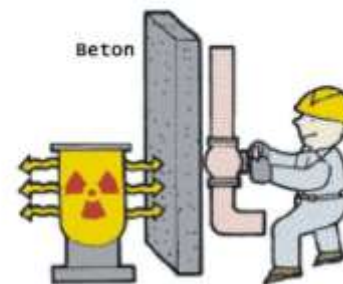
Bezpieczna odległość

Moc dawki jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości

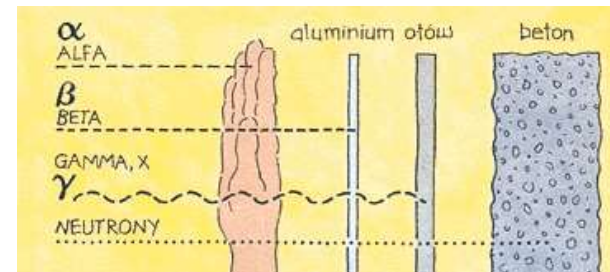


Natężenie promieniowania pochodzące od źródeł traktowanych jako punktowe jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości.

Osłony



Natężenie promieniowania spada eksponentalnie z grubością osłony.



A może jednak się bać?

Zadaniem Hisashi Ouchi (35 lat) oraz Masato Shinohary (39 lat) było przygotowanie azotanu uryalu (otrzymywało się go poprzez połączenie kwasu azotowego z tlenkiem uranu). Normalnie do mieszania używa się zbiornika jak na rysunku po prawej →

Inżynierowie by przyśpieszyć proces wykorzystywali zwykłe wiadro ze stali nierdzewnej o pojemności 10 l. Mieszanka oczywiście ma określoną normę, Hisashi i Masato przekroczyli ją 7-krotnie!

To zapoczątkowało reakcję łańcuchową która objawiła się niebieskim błyskiem i 'wybuchem' promieni gamma. Jak wiemy życie to nie film i nie zmienili się oni w dwóch zielonych koksów. Było gorzej. Obaj inżynierowie momentalnie osunęli się na ziemię z bólu. Hisashi zwymiotował do wiadra i zemdlał. Masato oraz znajdujący się niedaleko Yutaka Yokokawa (54 lata) wyciągnęli Ouchiego z budynku. Wezwana została pomoc i zostali oni przetransportowani do szpitala



Hisashi Ouchi: 17 Sv
Masato Shinohara: 10 Sv
Yutaka Yokokawa: 3 Sv (siedział przy biurku 4 m dalej)

Konsekwencje:

Lekarze nie spodziewali się takich zniszczeń (obrażenia to za małe słowo). Każdy narząd był uszkodzony, we krwi obydwóch pacjentów liczba białych krwinek równa była zero

- DNA Ouchiego zostało zniszczone! Oznacza to, że każda kolejna komórka powstająca w jego ciele była 'zepsuta'
- Skóra (nie naskórek) schodziła z ich ciał (zaczynała się zsuwać)
- Ulegali stopniowemu lecz bardzo powolnemu rozpadowi
- Szybko stracili umiejętność wystawiania się więc z lekarzami kontaktowali się poprzez pismo. Jedno z ostatnich zdań napisanych przez Masato brzmiało „Mamo, proszę”

Z czasem ich mięśnie zaczęły odchodzić od kości. U Hisashiego jelita zaczęły się topić więc zamontowali mu kamerę w odbytnicy by monitorować jego stan

Hisashi Ouchi zmarł 21 grudnia 1999 roku

Każdy zapewne znajdując się w ich stanie pragnął by śmierci. Nie inaczej było z nimi problem tkwił jednak w tym, że byli oni podtrzymywani przy życiu mimo swej woli. Dla lekarzy była to możliwość obserwowania wpływu promieniowania na ludzkie ciało (a trzeba dodać, że obydwaj byli rekordzistami jeżeli chodzi o długość życia po przyjęciu śmiertelnej dawki)

- Tydzień po wypadku Ouchi zaczął wykazywać objawy choroby popromiennej
- 18 dnia krwinki wydawały się powracać do normy (po przeszczepie komórek obwodowych)
- 27 dnia jelita Ouchiego zaczęły się topić. Rozpoczęto transfuzje, pacjent czasami otrzymywał 10 jednostek w ciągu 12 godzin. By zapobiec znacznej utracie płynów został owinięty gazą. Z jego oczu leciała krew
- 59 dnia Ouchi przeszedł zawał podczas którego serce stanęło mu 3 razy (w sumie na 49 minut)

Pewnego razu w przypiływie świadomości krzyknął do nich 'błagam zabijcie mnie! Nie jestem świnką morską!'

Przeżył 83 dni

Książka

- „A Slow Death: 83 Days of Radiation Sickness” (NHK TV Crew)

Dokładny opis:

- http://library.buffalo.edu/libraries/projects/cases/tokaimura/tokaimura_2.html

Raport International Atomic Energy Agency (IAEA)

- <http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/tokaimura-report.pdf>
- str. 77-78 zawiera opis „leczenia”

Nuclear Regulatory Commission (NRC) - USA

- <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/secys/2000/secy2000-0085/attachment1.pdf>

Przyczyny:

- Mieszanina była w stanie osiągnąć krytyczną masę przez niefrasobliwość Ouchiego i Shinohary. Maksymalna dozwolona ilość uranu w mieszaninie to 2,4 kg. W momencie reakcji w pojemniku znajdowało się około 16 kg uranu

Hisashi Uchi



Masato Shinohara

原爆と同じ東海村臨界事故

被曝したJCO労働者・篠原理人さん（40歳）の治療経過の写真
（第3回日本臨床救急医学会での公表写真）



篠原さん

9月30日

10月10日

11月10日

12月20日

1月4日

9月30日 臨界事故で顔や両腕に10シーベルトの中性子を浴びて被ばく。

10月10日 外傷はないが紅斑、おうと、下痢、意識障害などがあらわれる。

11月10日 皮膚が次々にはがれ、70%がはがれ落ちる。

12月20日 両前腕部に皮膚移植をおこなう。

1月4日 顔面へも皮膚移植がおこなわれたが、DNAの損傷で皮膚の再生能力は失われていた。



〈右手〉 東大病院転院時には、束くはれているだけだった。
撮影：1999年10月7日（撮影8日目）



被曝したJCO労働者・篠原理人さん（40歳）の治療経過の写真
（第3回日本臨床救急医学会での公表写真）



篠原さん 9月30日 10月10日 11月10日 12月20日 1月4日

- 9月30日 臨界事故で顔や両腕に10シーベルトの中性子を浴びて被ばく。
- 10月10日 外傷はないが紅斑、おうと、下痢、意識障害などがあらわれる。
- 11月10日 皮膚が次々にはがれ、70%がはがれ落ちる。
- 12月20日 両前腕部に皮膚移植をおこなう。
- 1月4日 顔面へも皮膚移植がおこなわれたが、DNAの損傷で

2 przypadki

2 przypadki...

- **Wypadki drogowe¹:**
 - 7,84 osób ginie każdego dnia → ~ 2862 rocznie (2018 rok)
- **Požary²:**
 - ~ 500 śmiertelnych ofiar pożarów rocznie
 - 95 % zatrauwa się gazami
 - Ponad 4000 jest rannych
 - 27 000 pożarów budynków mieszkalnych rocznie
- **Grzyby:**
 - ~ 50 ofiar śmiertelnych rocznie,
- **Utonięcia²:**
 - 457 (w 2017) w tym 66 kobiet
 - do 7 lat: 3
 - 8-14 lat: 6
 - 15-18 lat: 22
 - 19-30 lat 62
 - 31-50 lat 121
 - powyżej 50 lat: 238

POLSKA

¹Dane statystyczne KSIP (Krakowy System Informacji Policji)

²Dane statystyczne KG PSP (Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej)

Dziękuję za uwagę

Czy powinniśmy bać się promieniowania jonizującego?



Tak



Nie