

ALARA	As Low As Reasonably Achievable generalna zasada ochrony przed promieniowaniem
Dawka pochłonięta	D , Gy - wielkość fizyczna 1 rad = 0,01 Gy
Dawka zewnętrzna	od źródła znajdującego na zewnątrz ciała
Dawka wewnętrzna	od źródła znajdującego wewnątrz ciała
Dawka letalna	LD_{50} , $LD_{50/30}$ dawka promieniowania lub substancji chemicznej, która zabija 50% danej populacji (w ciągu 30 dni)
Względna skuteczność biologiczna (RBE)	$RBE_i = \frac{D_{X\ 200keV}}{D_i}$
Współczynnik jakości	Q
Równoważnik dawki	H , H_T , Sv 1 rem = 0,01 Sv
Współczynnik wagowy tkanki	w_T – uwzględnia różnice we wrażliwości różnych tkanek (narządów) ze względu na skutki stochastyczne
Efektywny równoważnik dawki	H_E , Sv
Równoważnik dawki obciążającej (tkanki T) od wchłoniętej substancji promieniotwórczej	$H_{T50} = \int_{t_0}^{t_0+50} H_T(t) dt$
Efektywny równoważnik dawki obciążającej	$H_{E50} = \sum w_T \cdot H_{T50}$
Efektywny czas połowicznego zaniku	$T_{1/2E} = \frac{T_{1/2b} \times T_{1/2r}}{T_{1/2b} + T_{1/2r}}$
Całkowity efektywny równoważnik dawki TEDE	suma efektywnego równoważnika dawki głębokiej (zewnętrznej) i efektywnego równoważnika dawki obciążającej (wewnętrznej)
Dawka kolektywna (populacyjna)	osobo·Sv - obliczana dla określonej populacji
ALI	Annual Limit on Intake roczny limit wchłonięć dla pracownika (przez oddychanie, jedzenie, picie)
Człowiek standardowy	hipotetyczny mężczyzna o standardowej wadze 70 kg i określonym składzie pierwiastkowym i tkankowym, ..., jako obiekt do obliczania zagrożeń radiologicznych

Dawka pochłonięta promieniowania

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

Jednostką dawki pochłoniętej jest

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

Przy analizie skutków biologicznych konieczne jest wprowadzenie pojęcia równoważnika dawki pochłoniętej

$$H[\text{Sv}] = Q \cdot D[\text{Gy}]$$

$$H_T = \sum Q_i \cdot D_i$$

gdzie D_i jest dawką pochłoniętą promieniowania o współczynniku jakości Q_i .

Promieniowanie	Q
Fotony (X, γ) i elektrony (β) powyżej 30 keV	1
Promieniowanie β trytu	2
Neutrony termiczne	4,5
Neutrony, protony i ciężkie jony (w tym α)	25

Table 2-4. Quality Factors Used in USNRC Radiation Safety Regulations

Type of radiation	Quality factor (Q)
Alpha particles, multiple charged particles, fission fragments, and heavy charged particles	20
x rays, gamma rays, electrons, negatrons, or positrons	1
Thermal neutrons	2
Fast neutrons, neutrons of unknown energy, or high-energy protons	10

Source: USNRC 1997a

efektywny równoważnik dawki

$$H_E = \sum w_T \cdot H_T$$

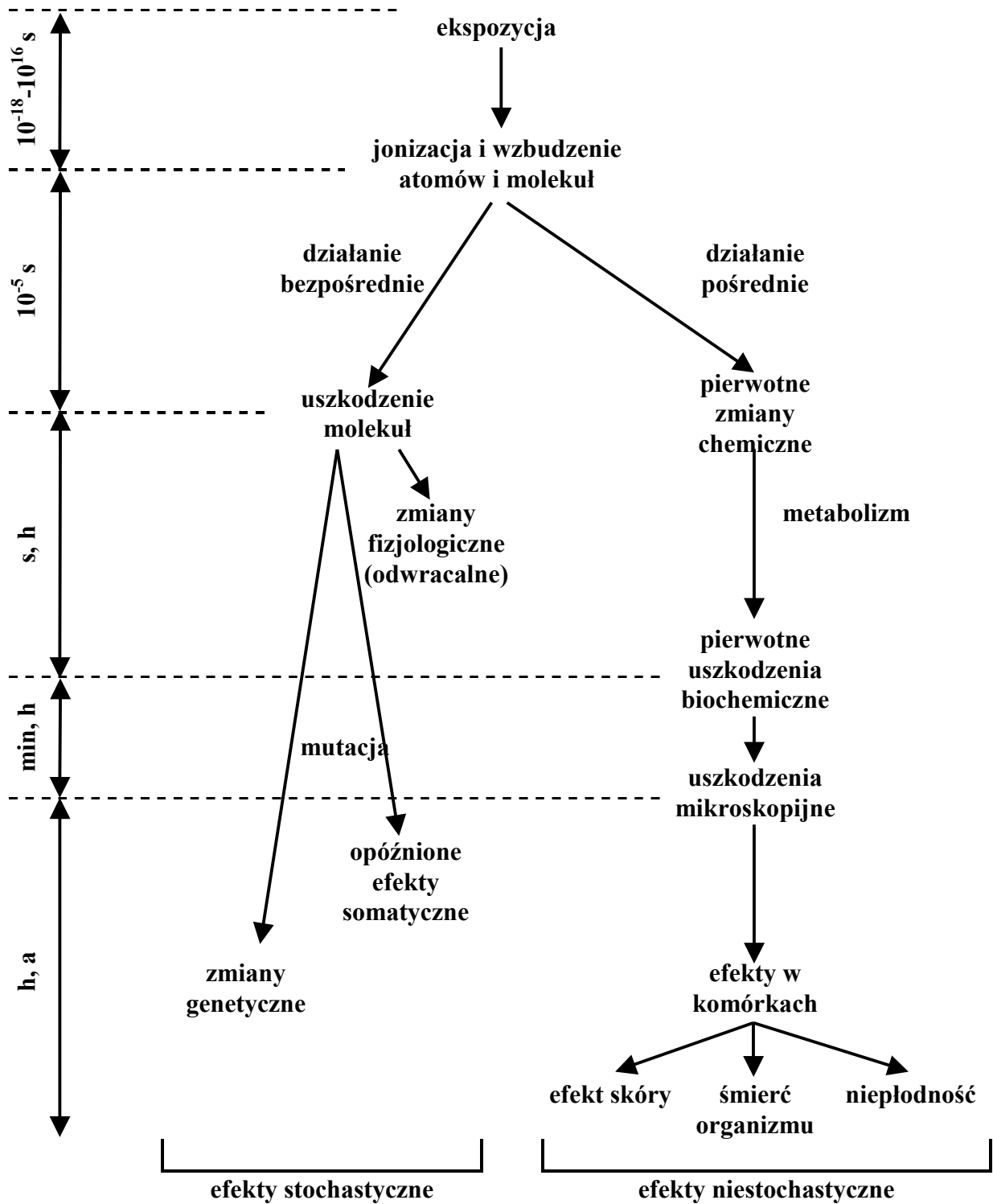
Table 2-3. Tissue Weighting Factors Used by the USNRC and ICRP to Calculate Effective Dose

Tissue	USNRC Weighting factor for Effective Dose Equivalent (ICRP 1977; USNRC 1997a)	ICRP Weighting factor for Effective Dose (ICRP 1991)
Whole body	1.00 ^a	–
Gonads	0.25	0.20
Breast	0.15	0.05
Red bone marrow	0.12	0.12
Lung	0.12	0.12
Thyroid	0.03	0.05
Bone surface	0.03	0.01
Colon	–	0.12
Stomach	–	0.12
Bladder	–	0.05
Liver	–	0.05
Esophagus	–	0.05
Skin	–	0.01
Remainder	0.30 ^b	0.05

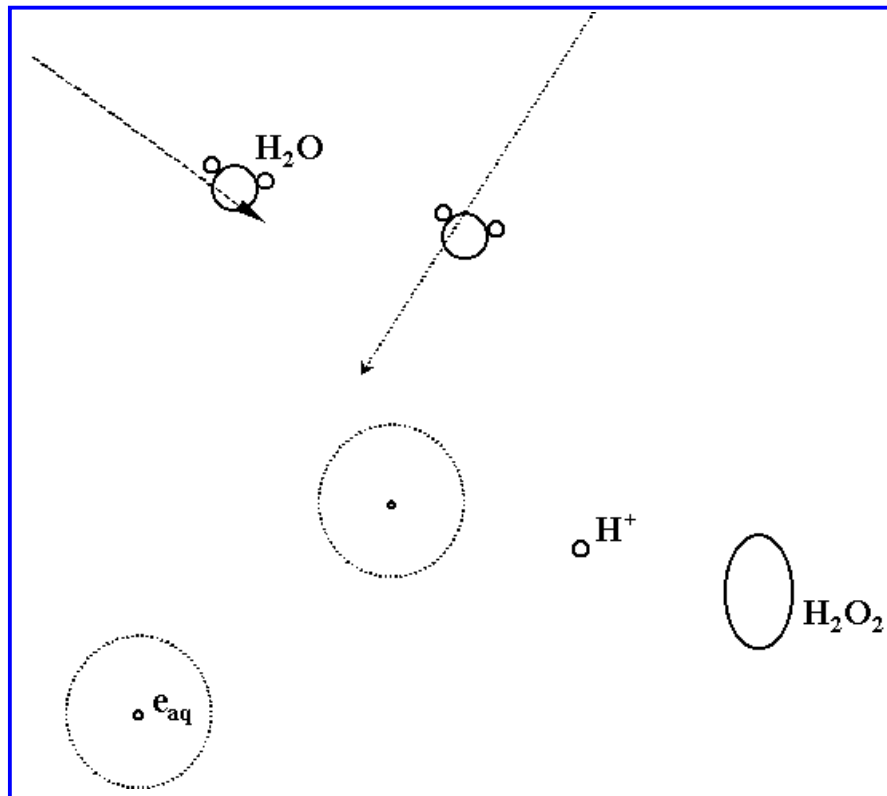
^aThe whole body weighting factor was introduced by the USNRC and is not addressed by either the ICRP or the NCRP.

^b0.30 results from 0.06 being assigned to each of the five remaining organs (excluding the skin and lens of the eye) that receive the highest doses.

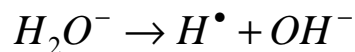
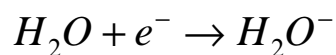
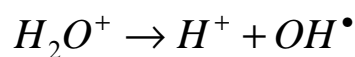
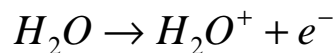
Fazy i efekty oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm



Powstawanie dodatkowych wolnych rodników w komórce w wyniku radiolizy wody

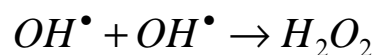


Reakcje radiolizy wody wywołane przez promieniowanie jonizujące:

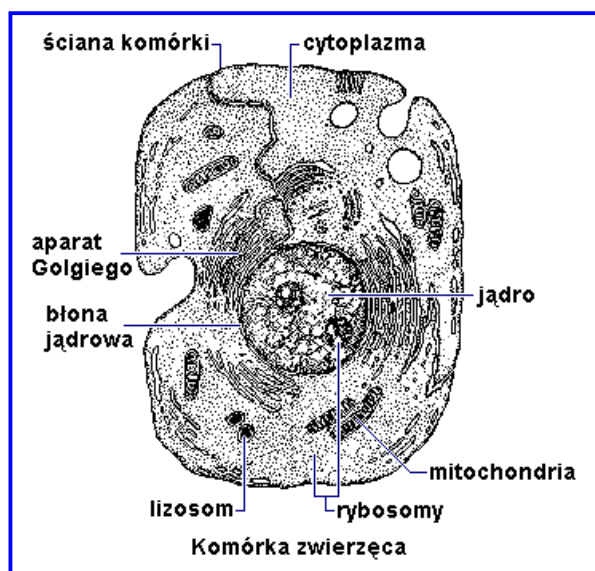


Powstające wolne rodniki H^\bullet i OH^\bullet są bardzo aktywne chemicznie i inicjują szereg dalszych reakcji, które mogą doprowadzić do uszkodzenia lub upośledzenia czynnościowo ważnych organelli komórkowych.

W szczególności połączenie dwóch rodników OH^\bullet daje



nadtlenek wodoru, bardzo silny utleniacz o niszczącym działaniu (3% roztwór H_2O_2 to woda utleniona używana do odkażania).



Działanie promieniowania jonizującego na żywy organizm jest wynikiem jego uszkadzającego wpływu na komórki i jej elementy.

Najbardziej wrażliwe są komórki słabo zróżnicowane, często dzielące się (komórki szpiku, komórki nabłonka wyściełającego jelita). Komórki wysoko wyspecjalizowanych narządów rzadko lub wcale nie dzielą się i są znacznie mniej wrażliwe (komórki

nerwowe).

Biologiczne efekty oddziaływania promieniowania na żywy organizm dzielimy na dwie klasy:

- **efekty somatyczne** (dotyczą napromieniowanego organizmu) polegają na uszkodzeniu komórek utrzymujących procesy życiowe,
- **efekty genetyczne**, występujące przy uszkodzeniu komórek rozrodczych odpowiedzialnych za przekazywanie cech dziedzicznych potomstwu (dotyczą kolejnych pokoleń).

Ze względu na relacje między dawką promieniowania a efektem biologicznym skutki promieniowania dzielimy na:

- **niestochastyczne** (pewne), kiedy możemy wykazać ścisły związek, zwykle liniowy, między wielkością dawki a natężeniem skutku,

Deterministic effects after whole-body and localised irradiation by X and gamma rays; approximate absorbed threshold doses for single (short-term) and fractionated or low dose-rate (long-term) exposures [5,6].		Threshold absorbed dose Gy	
Organ/tissue	Effect	Short-term exposure (single doses)	Long-term exposure (yearly - repeated for many years)
Testicles	Temporal sterility	0.15	0.4
	Permanent sterility	3.5 - 6.0	2.0
Ovaries	Sterility	2.5 - 6.0	> 0.2
Ocular lens	Detectable opacities	0.5 - 2.0	> 0.1
	Visual impairment (cataract)	5.0	> 0.15
Bone marrow	Haemopoiesis impairment	0.5	> 0.4
Skin	1. Erythema (dry desquamation)	2	-
	2. Moist desquamation	18	-
	3. Epidermal and deep skin necrosis	25	-
	4. Skin atrophy with complications and telangiectasia	10 - 12	1.0
Whole body	Acute radiation sickness (mild)	1.0	-

- **stochastyczne, jeżeli możemy mówić o zależności prawdopodobieństwa wystąpienia określonego skutku w funkcji pochłoniętej dawki promieniowania.**

Efekty genetyczne promieniowania są zawsze stochastyczne, efekty somatyczne mogą być zarówno niestochastyczne jak i stochastyczne.

Powstawanie jednych i drugich skutków tłumaczy się przy pomocy dwóch teorii oddziaływania promieniowania jonizującego:

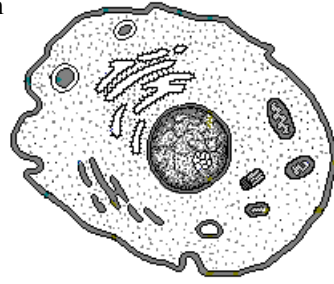
- 1. Teoria „pocisku i tarczy” bezpośredniego oddziaływania.**
- 2. Teoria oddziaływania pośredniego chemiczno-biologicznego.**

Table 3-3. Summary of the Dose Response Effects of Ionizing Radiation in Humans

Phase	Feature	Subclinical range	100–800 rad (sublethal ranges)			Over 800 rad (lethal range)	
		0–100 rad	100–200 rad	200–600 rad	600–800 rad	800–3000 rad	>3000 rad
Initial phase	Incidence of nausea and vomiting	None	5–50%	50–100%	75–100%	90–100%	100%
	Time of onset		3–6 hours	2–4 hours	1–2 hours	<1 hr	< 1 hr
	Duration		<24 hours	<24 hours	<48 hours	<48 hours	48 hours
	Mental and physical capabilities	100%	100%	Able to perform routine tasks. Cognitive abilities impaired for 6–20 hours.	Able to perform simple and routine tasks. Significant incapacitation in upper part of dose range. Lasts more than 24 hours.	Progressive incapacitation	
Latent phase	Duration	> 2 weeks	7–15 days	0–7 days	0–2 days	None	
Secondary phase	Signs and symptoms	None	Moderate leukopenia	Severe leukopenia; pneumonia; purpura, hemorrhage; infection; hair loss (epilation) at about 300 rads		Diarrhea; fever; disturbance of electrolyte balance	Convulsions; tremor; ataxia; lethargy
	Time of onset after exposure		>2 weeks	Several days to 2 weeks		2–3 days	
	Critical period after exposure		None	4–6 weeks		5–14 days	1–48 hours
	Organ system affected	None		Hematopoietic and respiratory tissues	Hematopoietic and respiratory tissues	Gastrointestinal tract; respiratory tissues	Central nervous system
Hospitalization	Percentage	None	<5%	90%	100%	100%	100%
	Duration		45–60 days	60–90 days	90–120 days	2 weeks	2 days
Incidence of death		None	None	0–80%	90–100%	90–100%	
Average time to death				3 weeks to 2 months		1–2 weeks	2 days
Medical therapy		None	Hematologic surveillance	Blood transfusions and antibiotics		Maintenance of electrolyte balance	Sedatives

Source: adapted from Academy of Health and Science 1995

komórka



nieuszkodzona

promieniowanie

uszkodzenie DNA lub uszkodzenie błony kom.

uszkodzenie nieletalne

naprawa chemiczna naprawa enzymatyczna

nieudana naprawa chemiczna nieudana naprawa enzymatyczna

uszkodzenie letalne

śmierć lub niezdolność do rozmnażania

PRZEŻYCIE

ŚMIERĆ, MUTACJA RAKOWACENIE

Dawki graniczne w/g zarządzenia Prezesa PAA z 1988 roku

Narząd lub tkanka	1			2	3
	Pracownicy narażeni zawodowo			Osoby przebywające w pobliżu ...	Pozostałe grupy ludności
		kobiety	młodociani		
	mSv/12 m-cy	mSv/2 m-ce	mSv/12 m-cy	mSv/12 m-cy	mSv/12 m-cy
całe ciało	50 ¹	5	5	1 (do 5)	1
soczewki oczu	150	150	15	15	15
inne	500	500	50	50	50

Szacowana roczna dawka od naturalnych źródeł promieniowania wynosi w Polsce **2,6 mSv** (największy udział w tej dawce ma radon w powietrzu). Roczna średnia dawka od źródeł sztucznych jest szacowana w Polsce na **0,9 mSv** (praktycznie całość tej dawki pochodzi od diagnostycznych badań radiologicznych).



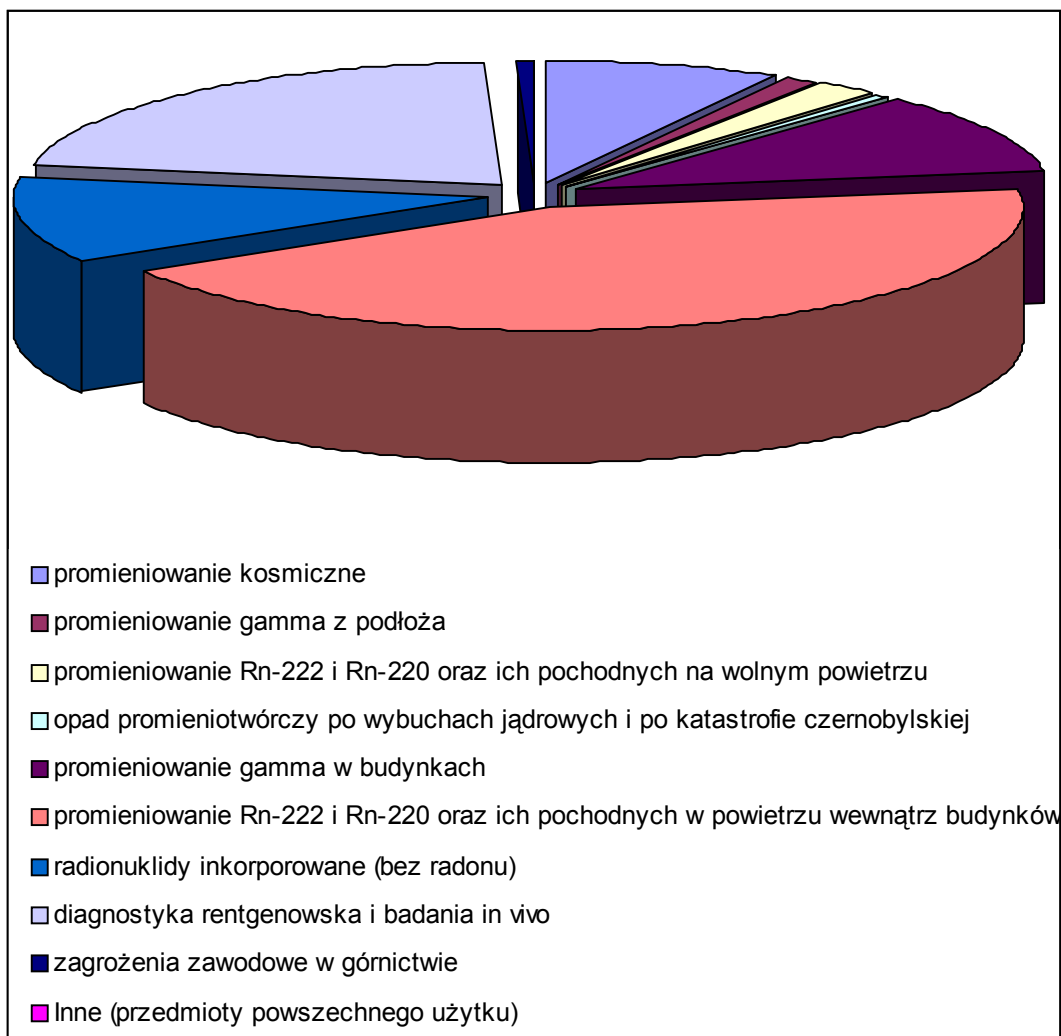
W stanie indyjskim Karela, w Kongo, na wybrzeżu brazylijskim naturalne roczne dawki promieniowania sięgają kilkunastu do kilkudziesięciu mSv. Mieszkańcy tych rejonów w ciągu całego życia otrzymują dawki od naturalnych źródeł wynoszące kilka Sv.

Dawka pochodząca od promieniowania kosmicznego rośnie wraz z wysokością nad poziomem morza. Na poziomie morza wynosi 0,3-0,5 mSv

na rok, na wysokości 3 km już około 1,2 mSv a powyżej 9 km ponad 10 mSv.

Wartości średnie efektywnego równoważnika dawki w roku 1992 w Polsce

Składowe promieniowania	Średnie dawki <i>mSv/rok</i> na osobę	Udział procentowy %
promieniowanie kosmiczne	0,29	8,0
promieniowanie gamma z podłoża	0,04	1,1
promieniowanie ²²² Rn i ²²⁰ Rn oraz ich pochodnych na wolnym powietrzu	0,08	2,2
opad promieniotwórczy po wybuchach jądrowych i po katastrofie czernobylskiej	0,021	0,6
promieniowanie gamma w budynkach	0,38	10,6
promieniowanie ²²² Rn i ²²⁰ Rn oraz ich pochodnych w powietrzu wewnątrz budynków	1,58	43,9
radionuklidy inkorporowane (bez radonu)	0,409	11,4
diagnostyka rentgenowska i badania <i>in vivo</i>	0,78	21,7
zagrożenia zawodowe w górnictwie	0,016	0,4
Inne (przedmioty powszechnego użytku)	0,005	0,1
razem	3,6	100,0



Średnia dawka promieniowania na całe ciało, jaką Polacy otrzymali w ciągu pierwszego roku od czarnobylskich radioizotopów wynosiła (według oceny UNSCEAR) 0,27 mSv. Stanowiło to 11% rocznej naturalnej dawki promieniowania. W ciągu całego życia Polacy otrzymają średnio od opadu czarnobylskiego dawkę na całe ciało wynoszącą około 0,9 mSv, czyli około 0,5% dawki, jaką w tym samym czasie zostaną napromienieni ze źródeł naturalnych, wynoszącej 168 mSv. Około 74% tej dawki na całe ciało pochodziło od ^{137}Cs , 20% od ^{134}Cs , 1% od ^{131}I i około 5% od innych izotopów. Tak mała dawka na całe ciało od skażenia czarnobylskiego nie będzie mogła dać żadnych, ani szkodliwych ani dobroczynnych, zauważalnych zmian zdrowia ludności w naszym kraju.

Dawka promieniowania na tarczycę od ^{131}I była natomiast znacznie wyższa. W zachodnich, mało skażonych województwach, sięgała ona od około 2 do 30 mSv u dzieci w wieku 1 roku. We wschodnich, silniej skażonych rejonach, dawka ta sięgała niekiedy około 10-90 mSv. U niemal 5% dzieci (u których zastosowano profilaktykę jodową) maksymalne dawki wynosiły niemal 200 mSv. Profilaktyka jodowa zmniejszyła dawki na tarczycę dzieci średnio o blisko połowę. Tam gdzie akcję rozpoczęto wcześniej zmniejszenie dawki mogło być nawet pięciokrotne. Około 70-80% radiojodu w tarczycy dzieci pochodziło z pożywienia (głównie z mleka). Tylko 20-30% radiojodu przedostało się do tarczycy drogą oddechową. Maksymalne stężenia ^{131}I w mleku pojawiły się w większości rejonów po 5 maja. Zatem nawet późno zastosowana profilaktyka dała korzystny efekt.

Skażenie gleby cezem-137 w Polsce po katastrofie w Czarnobylu

