

Awaria reaktora w Czernobylu: przyczyny i skutki

Andrzej Wójcik

Instytut Biologii, Akademia Świętokrzyska w Kielcach

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie

e-mail: awojcik@pu.kielce.pl



awaria czwartego bloku elektrowni jądrowej,
26 kwietnia 1986, 01:23

źródła informacji

wiarygodne źródła informacji

Raport UNSCEAR 1998

Annex D: Exposures from the Chernobyl accident

<http://www.unscear.org>

Raport UNSCEAR 2000

Annex J: Exposures and effects of the Chernobyl accident

<http://www.unscear.org>

Raport Chernobyl Forum 2003-2005

Chernobyl's legacy: health, environmental and socio-economic impacts

<http://www.unscear.org>

Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group Health (EGH), WHO 2006

Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes

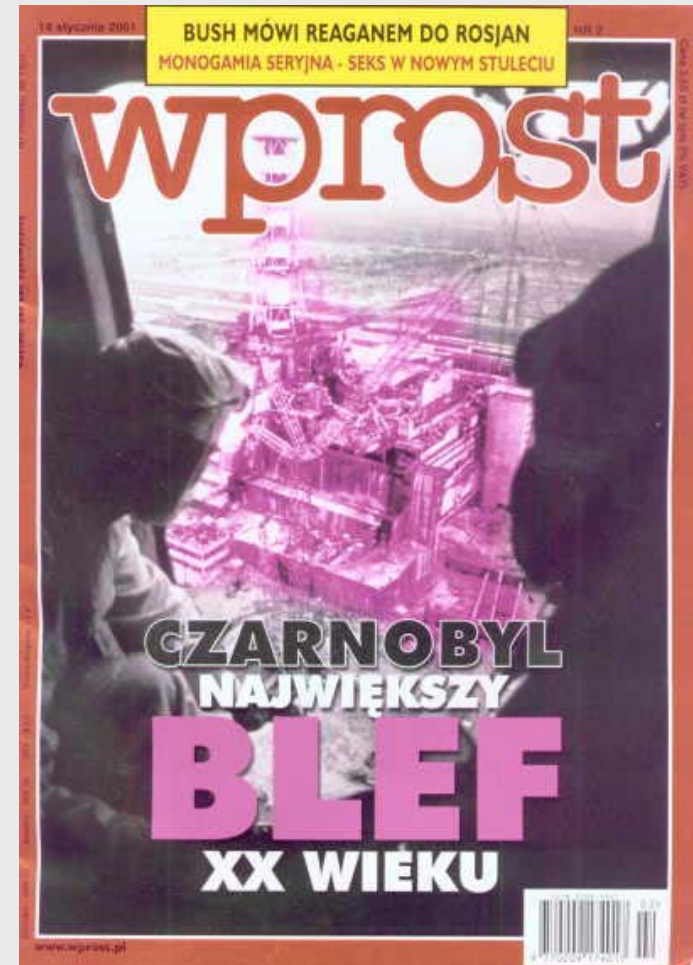
<http://www.who.int>

D. Grabowski, E. T. Józefowicz, J. Liniecki.

Awaria czarnobylska. Skutki zdrowotne w Polsce, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, 1999.

<http://www.ptn.nuclear.pl>

wokół skutków awarii narosło wiele mitów...



Czernobyl z lotu ptaka

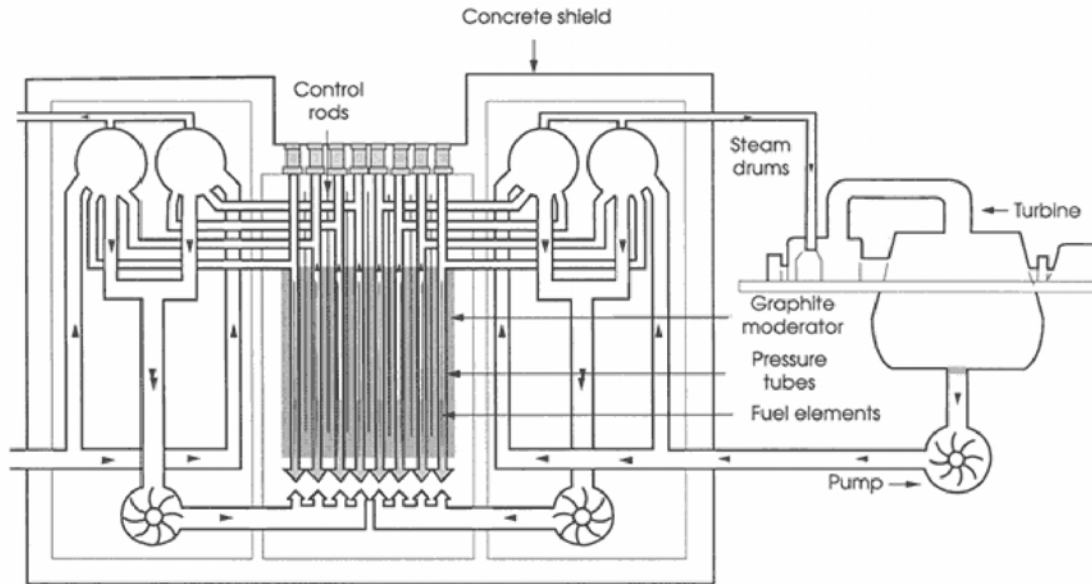


I: Przyczyny i przebieg awarii



Schemat reaktora RBMK

Реактор Большой Мощности Канальный, pol. Reaktor Kanałowy Wielkiej Mocy.



Słabe strony reaktora RBMK

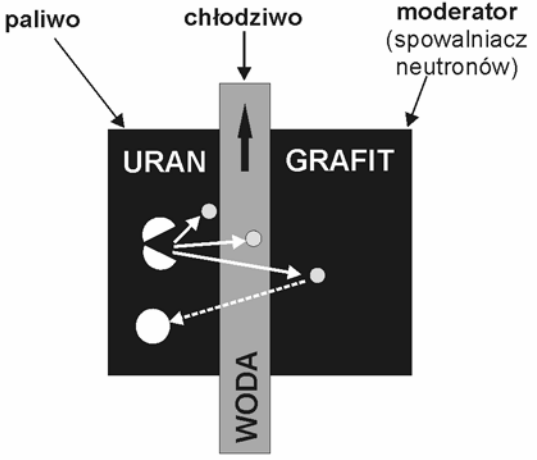
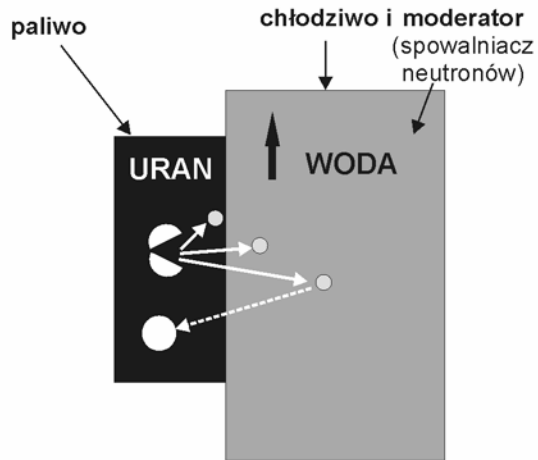
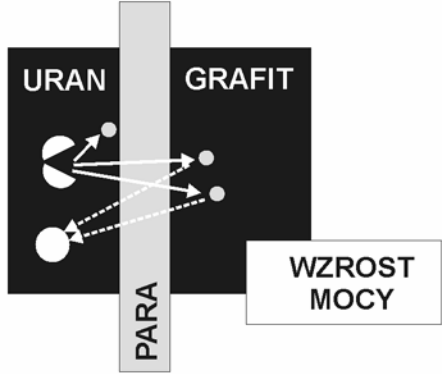
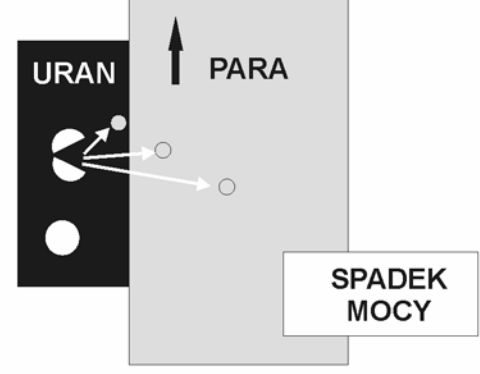
- moderator: grafit (temp pracy 750°C), chłodziwo: woda
przy 1000°C: $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
grafit otoczono azotem i helem
- paliwo w kanałach z cyrkonu
w 1000°C: $\text{Zr} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$
- Brak betonowej powłoki ochronnej
- Dodatni współczynnik temperaturowy reaktywności
wzrost mocy reaktora po odparowaniu wody

Dlaczego konstruowano takie reaktory? Jakie są zalety reaktora RBMK?

- możliwość ciągłej wymiany prętów paliwowych, co pozwala optymalizować stopień ich wypalenia tak, żeby uzyskać pluton najlepiej nadający się do produkcji broni jądrowej.
- **możliwość** modułowej rozbudowy rdzenia reaktora co umożliwia uzyskanie wielkiej mocy reaktora

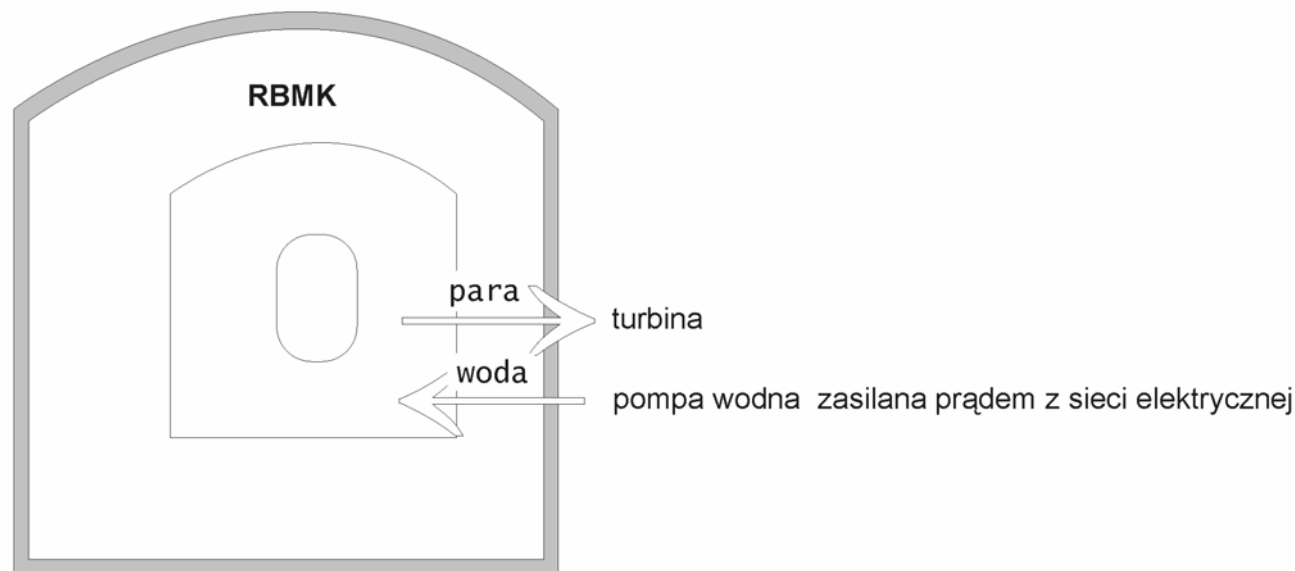
Dlaczego Reaktor RBMK cechuje dodatni współczynnik temperaturowy reaktywności?

Różnice konstrukcyjne między reaktorem RBMK i reaktorem wodnym

	Reaktor RBMK	Reaktor wodny
prawidłowa praca reaktora		
AWARIA przegrzanie reaktora i odparowanie wody		
	W normalnych warunkach woda pochłania część neutronów. Brak wody po jej odparowaniu powoduje wzrost liczby termicznych neutronów i przyspieszenie reakcji łańcuchowej.	Po odparowaniu wody brak moderatora powoduje spadek liczby neutronów termicznych i zahamowanie reakcji łańcuchowej.

Przyczyny katastrofy w Czernobylu

Eksperyment przeprowadzony w celu podniesienia bezpieczeństwa eksploatacji reaktora



Cel eksperymentu: zbadanie, jak długo, w przypadku zaniku zasilania z sieci, główne pompy wody mogłyby być nadal zasilane prądem, przy wykorzystaniu energii kinetycznej turbiny.

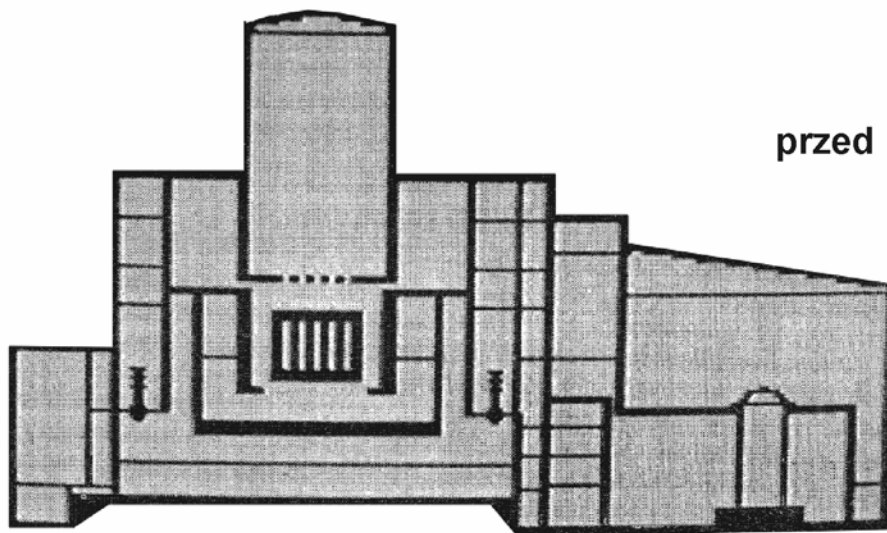
Ciąg zdarzeń

- odparowanie wody
- wzrost mocy i przegrzanie reaktora
- wybuch mieszaniny gazów ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$)
- pożar grafitu

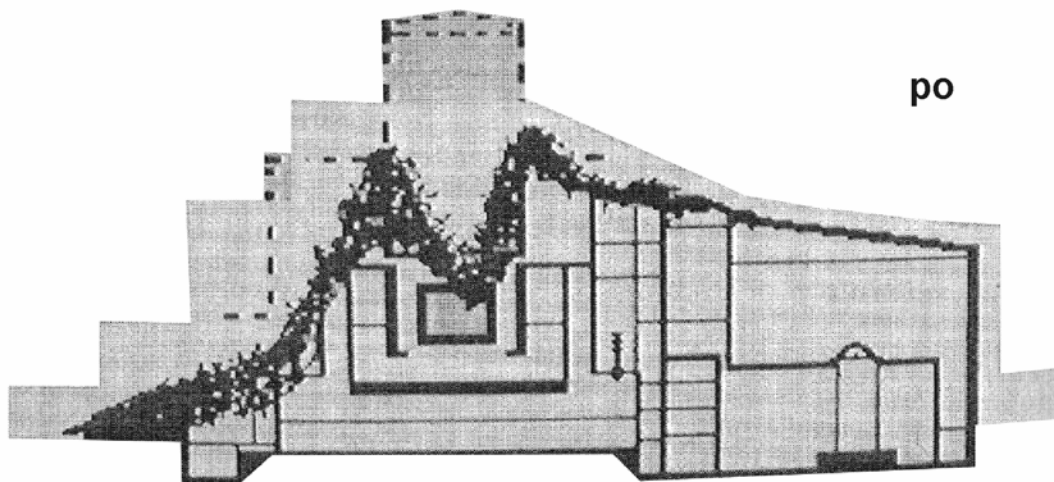
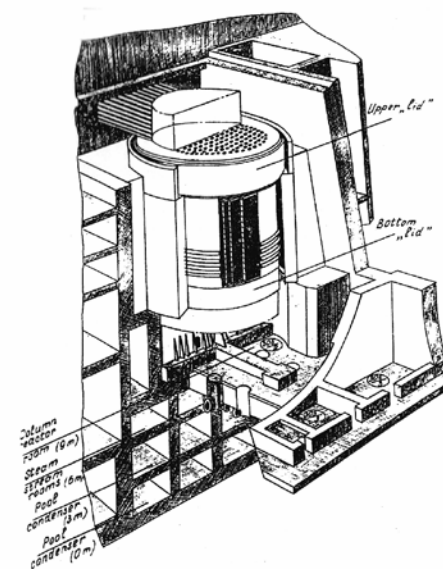
dalsza literatura

Zdzisław Celiński
Energetyka Jądrowa
a Społeczeństwo
PWN, 1992

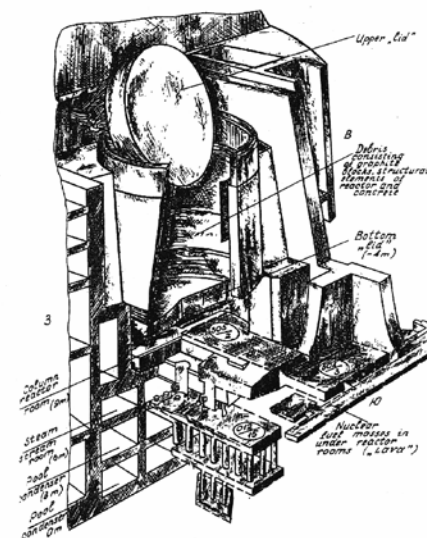
Schematy budynku i reaktora przed i po wybuchu



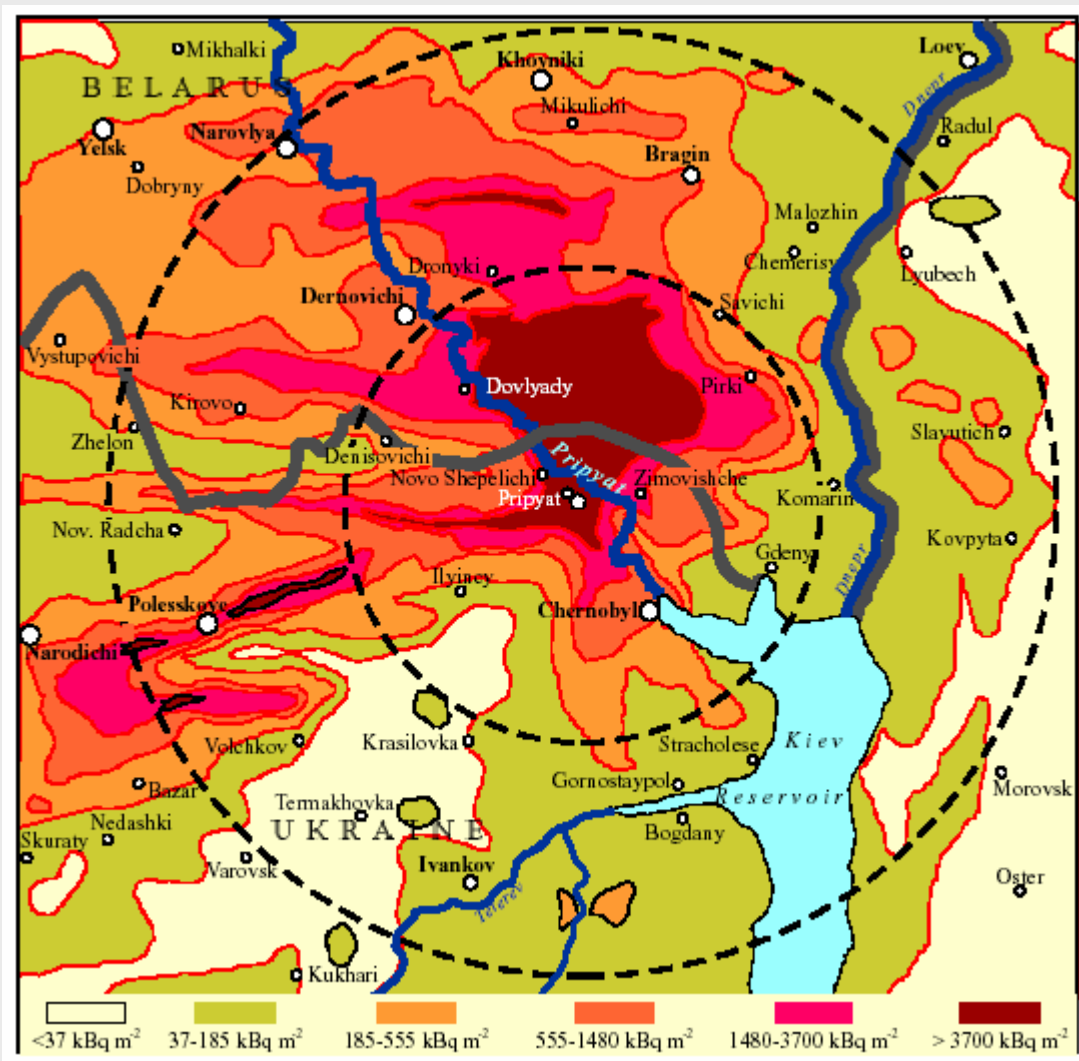
przed



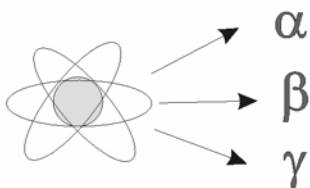
po



II: Uwolniona aktywność, skażenie terenu i dawki dla ludności Europy



Aktywność uwolnionych izotopów na skutek awarii reaktora w Czernobylu



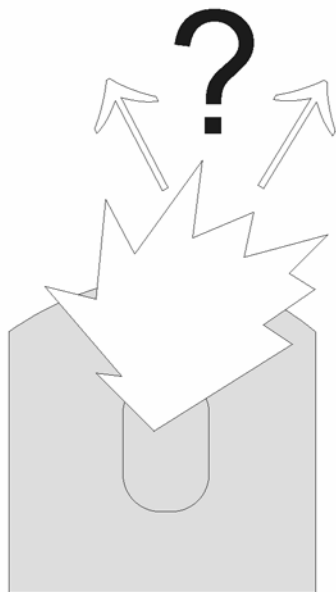
Aktywność promieniotwórcza.

Jednostka: Becquerel (Bq) = 1 rozpad na sekundę

stara jednostka: Curie (Ci) = $3,7 \times 10^{10}$ rozpadów

- odpowiada liczbie rozpadów/sek w 1 g radu

1 Ci = 3,7 GBq



Procent najważniejszych izotopów uwolnionych z reaktora na skutek pożaru

100 % gazów szlachetnych

		$t_{1/2}$
50 - 60 %	I-131	8 dni
20 - 40 %	Cs-134	2 lata
	Cs-137	30 lat
4 %	Sr-90	28 lat

Suma uwolnionych izotopów bez gazów szlachetnych

$\sim 5,3 \times 10^{18}$ Bq = ~ 150 milionów Ci

*: UNSCEAR 2000. Annex J

Porównanie aktywności izotopów uwolnionych na skutek różnych zdarzeń

Czernobyl:	$\sim 5,3 \times 10^{18} \text{ Bq} = \sim 150 \text{ milionów Ci}$
------------	---

- Bomba atomowa zrzucona na Hiroszimę (20 kt TNT): $2 \times 10^{17} \text{ Bq} \sim 5 \text{ milionów Ci}$
(bez promieniotwórczych gazów szlachetnych)
- Nadziemne, próbne wybuchy bomb atomowych w latach 1945 - 1984:
ponad 440 wybuchów o łącznej mocy ponad 550 Mt TNT: ponad $10^{21} \text{ Bq} = \text{ponad } 25 \text{ miliardów Ci}$
- Aktywności wyzwolone podczas produkcji broni atomowej w radzieckich laboratoriach
 - Czelabińsk-70, awaria w 1957: ponad 2 miliony Ci
 - Krasnojarsk-26: ponad 100 milionów Ci wpuszczonych do rzeki
 - Tomsk 7: około 20 miliardów Ci do jeziora

Rozprzestrzenianie się skażeń w Europie

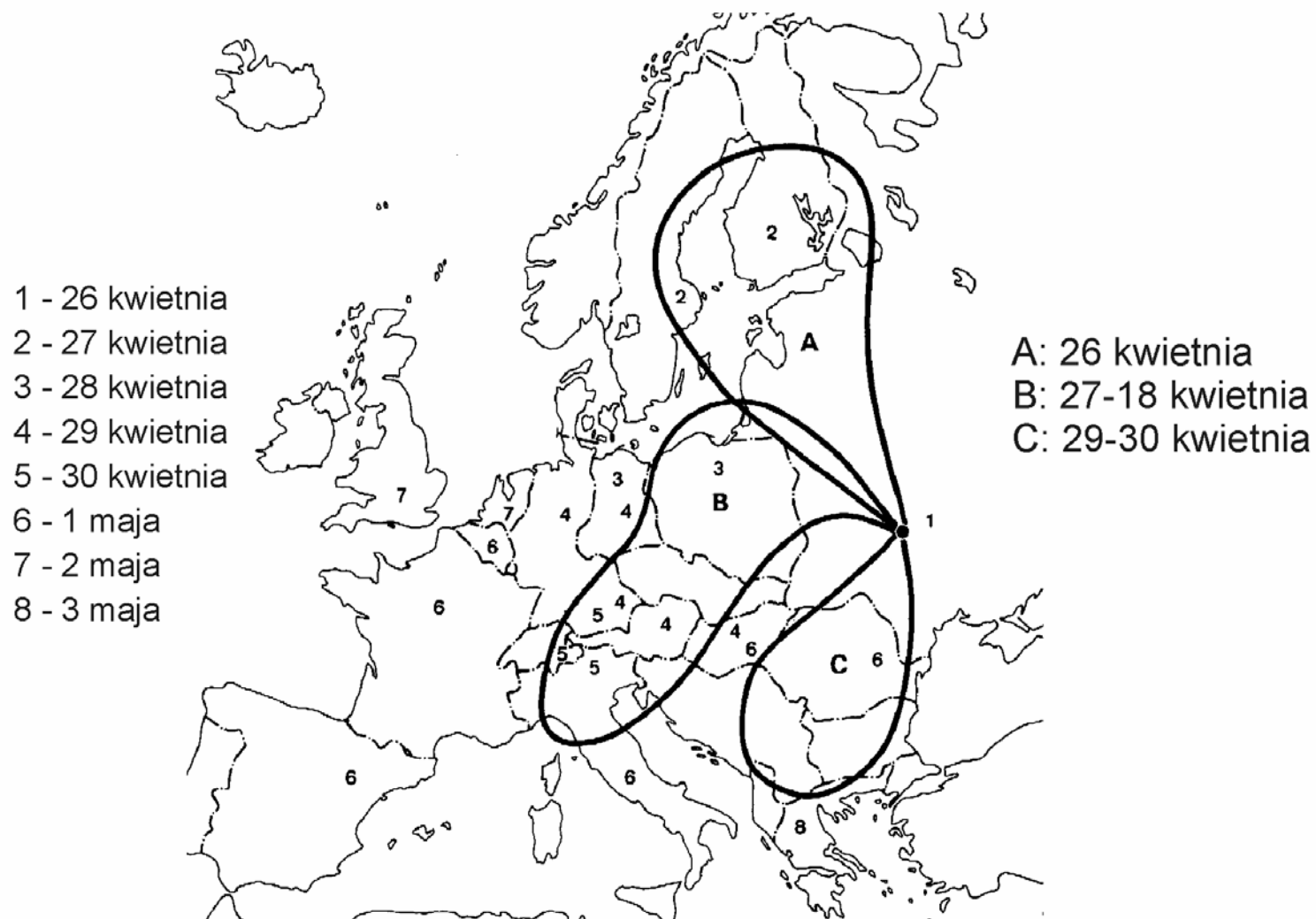
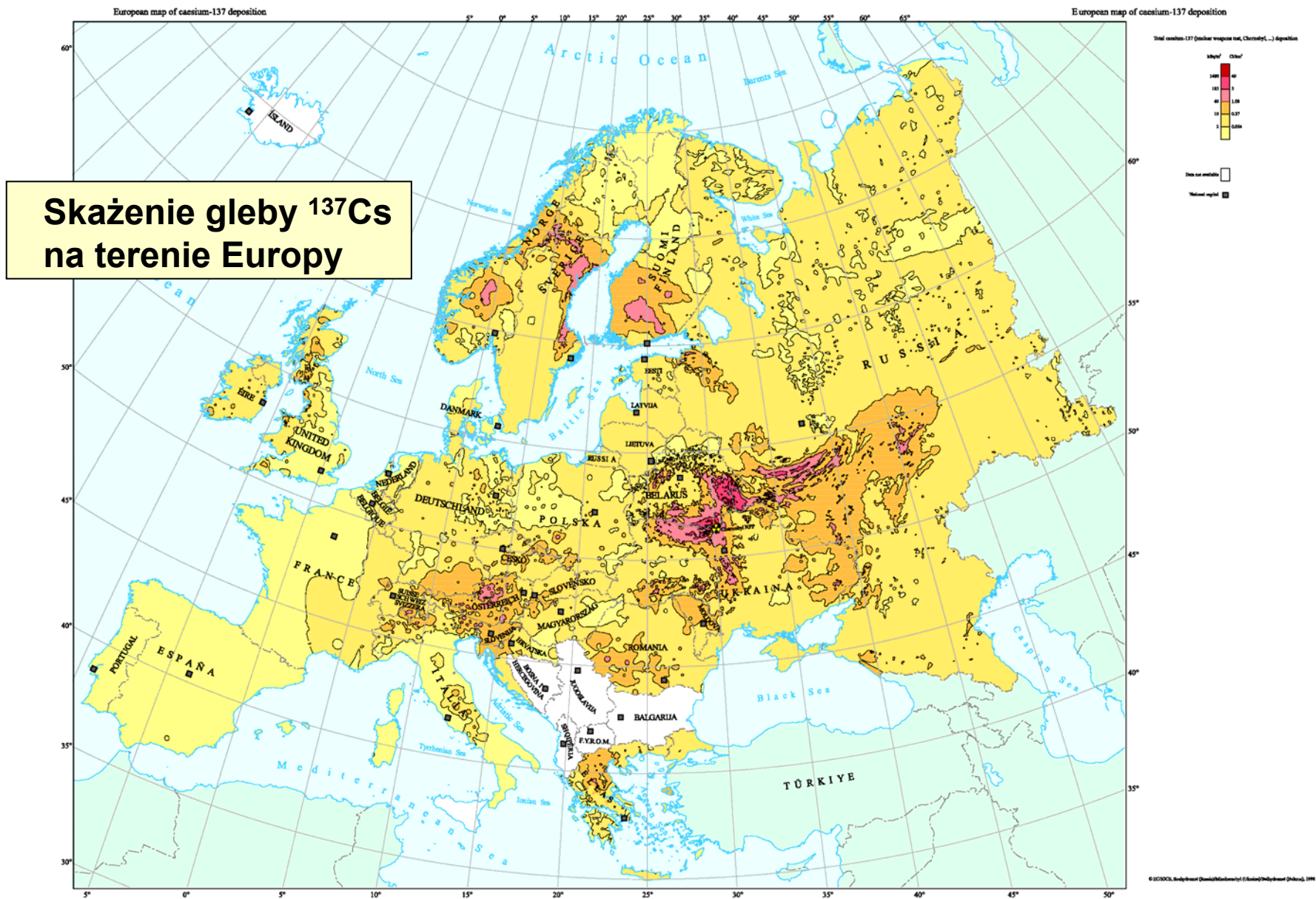


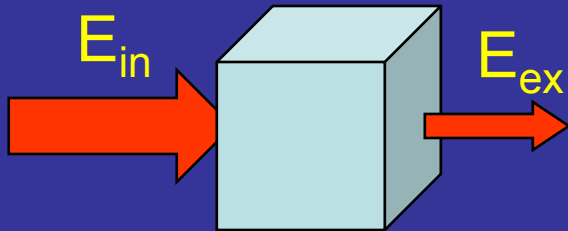
Figure XI. Surface ground deposition of caesium-137 released in Europe after the Chernobyl accident [D13].



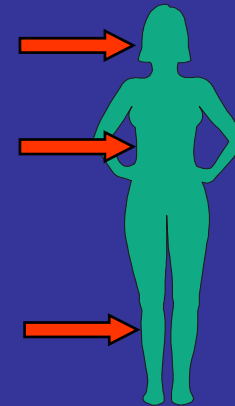
Jednostki dawki promieniowania

- **dawka pochłonięta** – Gray (Gy) = $\frac{\text{energia pochłonięta}}{\text{masa}}$

SI: 1 Dżul / kg



promieniowanie alfa, β , γ , X ,
neutrony, ciężkie jony, etc.



ryzyko?

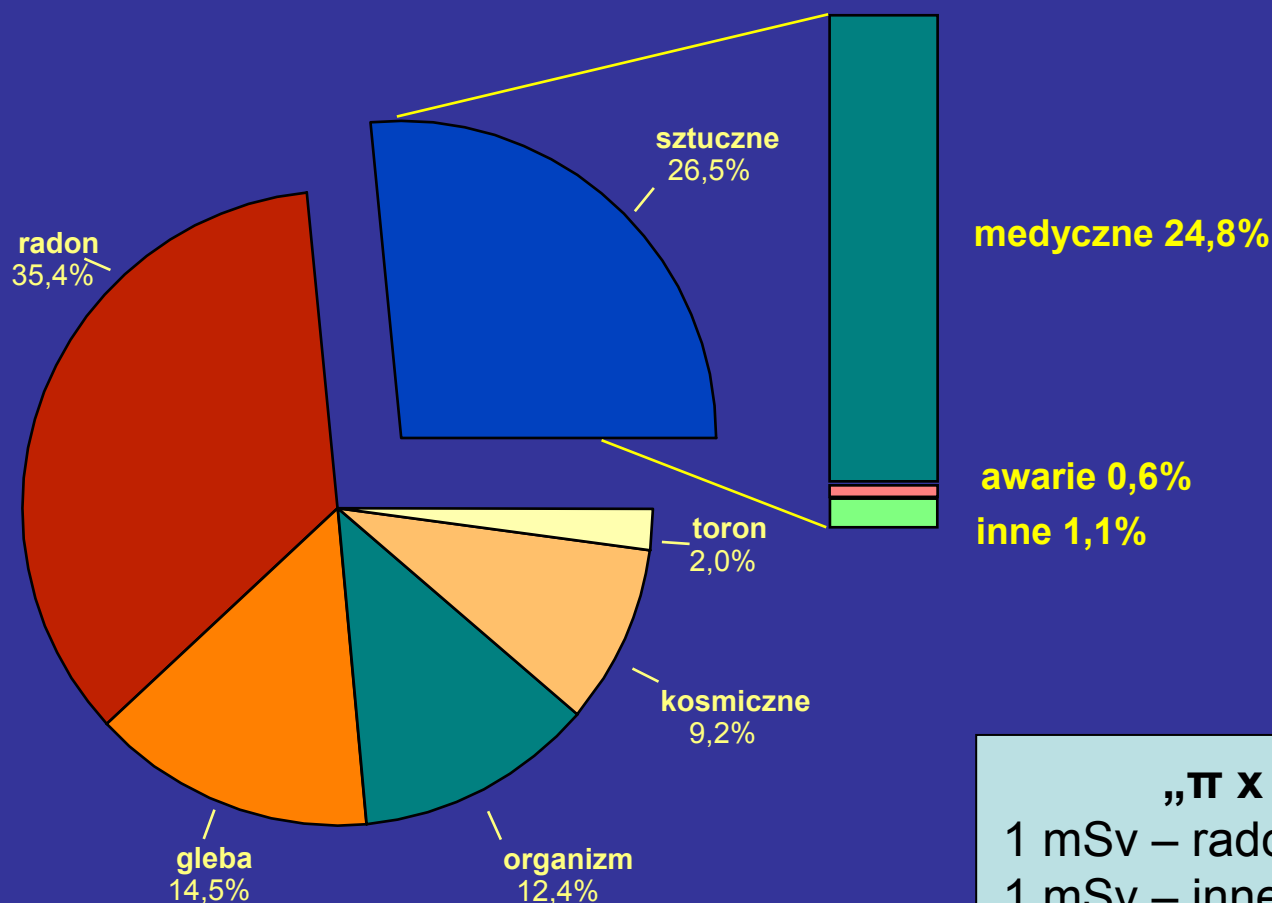
- **dawka równoważna** – Sievert (Sv) = Gy * w_R
- **dawka skuteczna** – Sievert (Sv) = Gy * w_R * w_T

w_R = czynnik wagowy dla jakości promieniowania

w_T = czynnik wagowy dla wrażliwości narządu na efekty stochastyczne

Średnia roczna dawka skuteczna w Polsce

wysokość dawki: ~3 mSv (Roczniki statystyczne)



„π x oko”

1 mSv – radon

1 mSv – inne naturalne

1 mSv – sztuczne

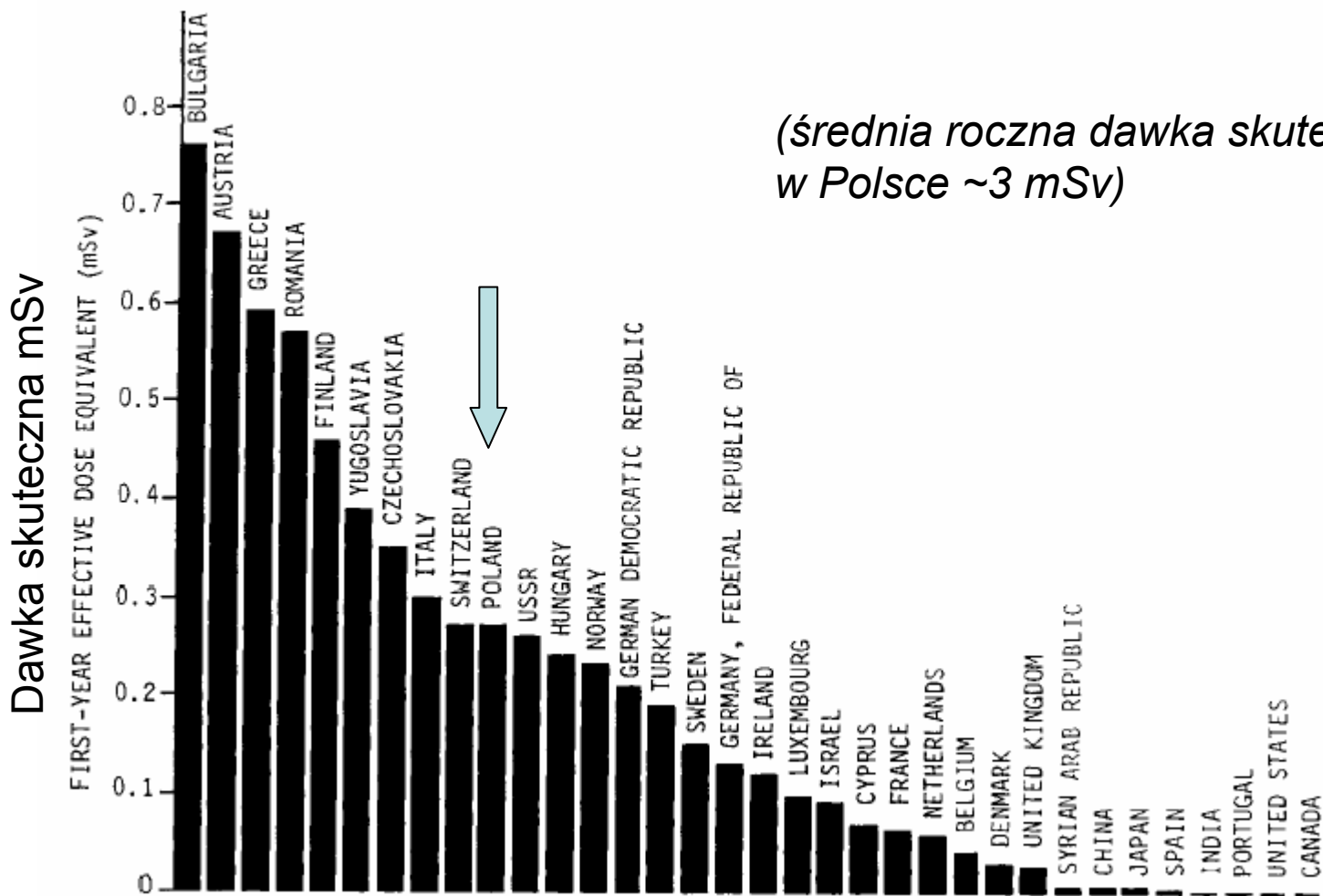
Dawki skuteczne z niektórych źródeł promieniowania

dawka skuteczna w Polsce	3 mSv / rok
dawka skuteczna z radionuklidów gleby	0,48 mSv / rok
przelot samolotem Warszawa - Nowy York	0,05 mSv
prześwietlenie klatki piersiowej (dawka skuteczna)	0,05 - 0,5 mSv

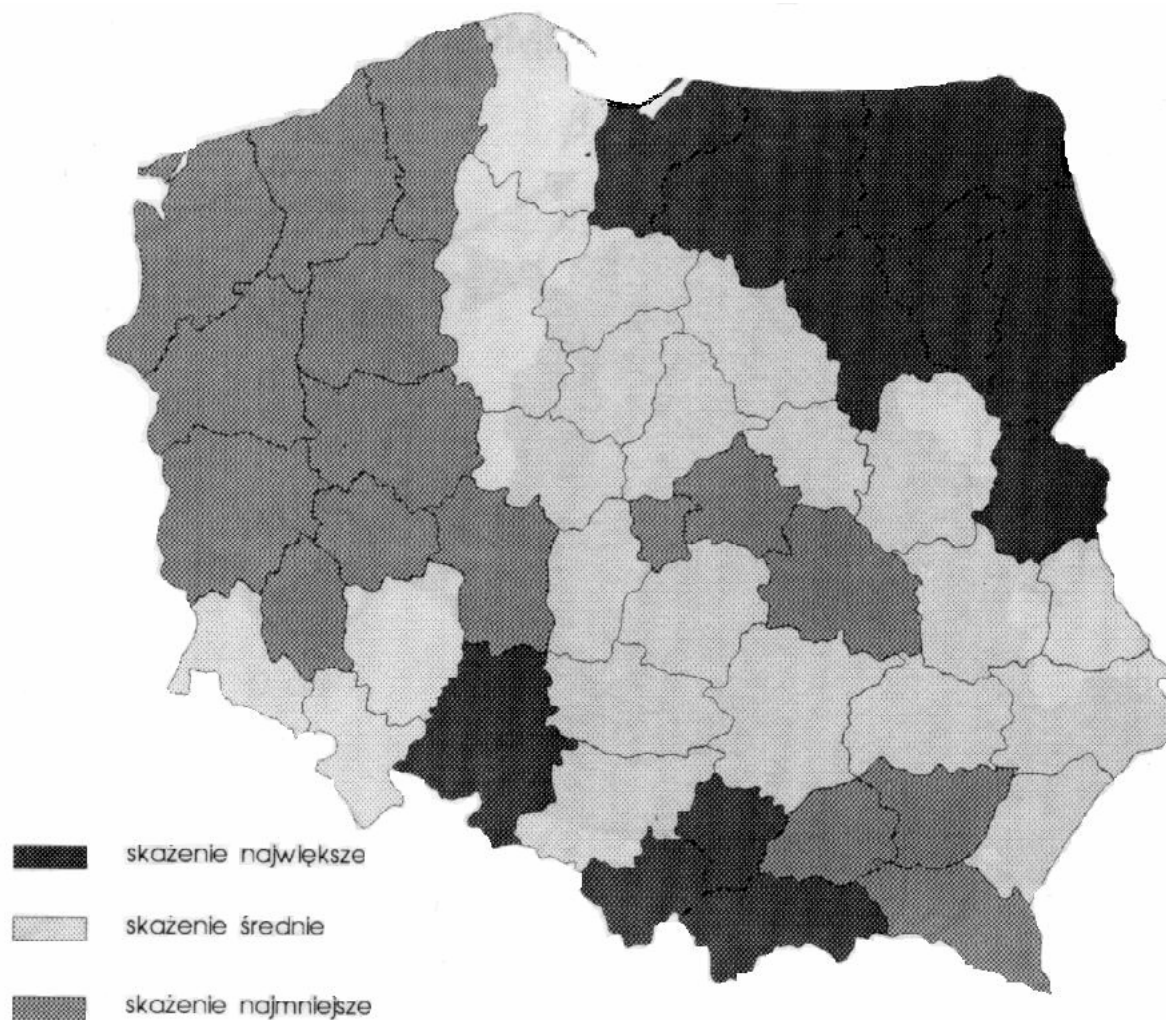
Miejsca na ziemi o wysokiej dawce skutecznej (aktywność gleby)

Kerala (Indie), 8000 osób	3,8 mSv / rok
500 osób	8,7 mSv / rok
Guarapari (Brazylia), 12000 osób	maks. 175 mSv / rok
Ramsar (Iran)	maks. 400 mSv / rok

Średnie dawki skuteczne pochłonięte przez jednego mieszkańca kraju w ciągu pierwszych 12 miesięcy po awarii (UNSCEAR 1998)



III: Skażenie terenów Polski na skutek awarii



(źródło: CLOR)

Aktywności izotopów w powietrzu, glebie i opadach w Polsce przed i po awarii w Czarnobylu

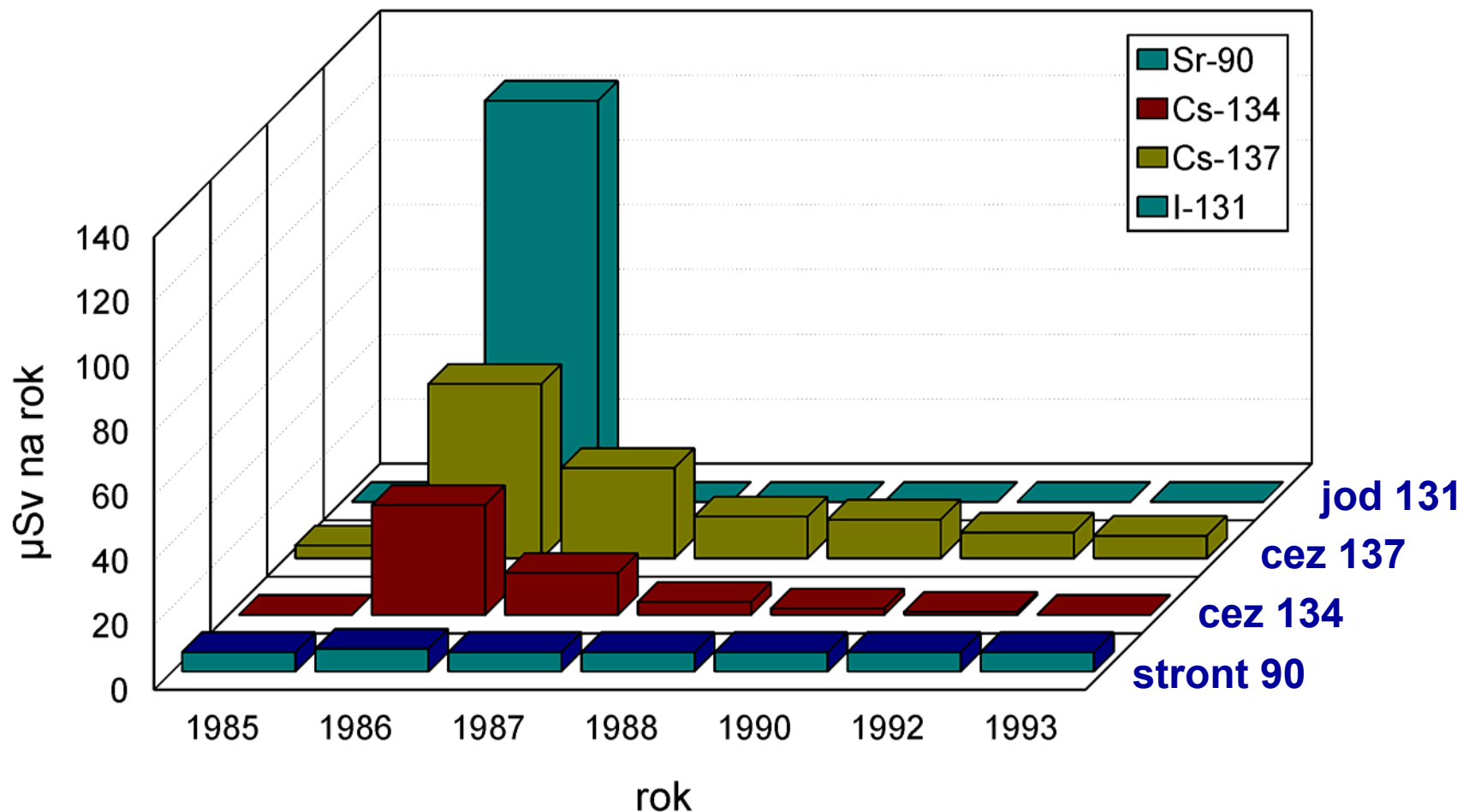
(źródło: Awaria czarnobylska: skutki zdrowotne w Polsce, PTN 1999)

		przed 1986	1986 1 połowa	1986 2 połowa	1991
Cs-137	powietrze (Bq/m ³)	0,002	4	0,04	0,005
	gleba (kBq/m ²)	1	4 - 80	4 - 80	4 - 80
	opad miesięczny (Bq/m ²)	0,5	0,6-30	3	0,5
I-131	powietrze (Bq/m ³)	0	40-80	0	0
	opad roczny (Bq/m ²)	0	3-200	0	0

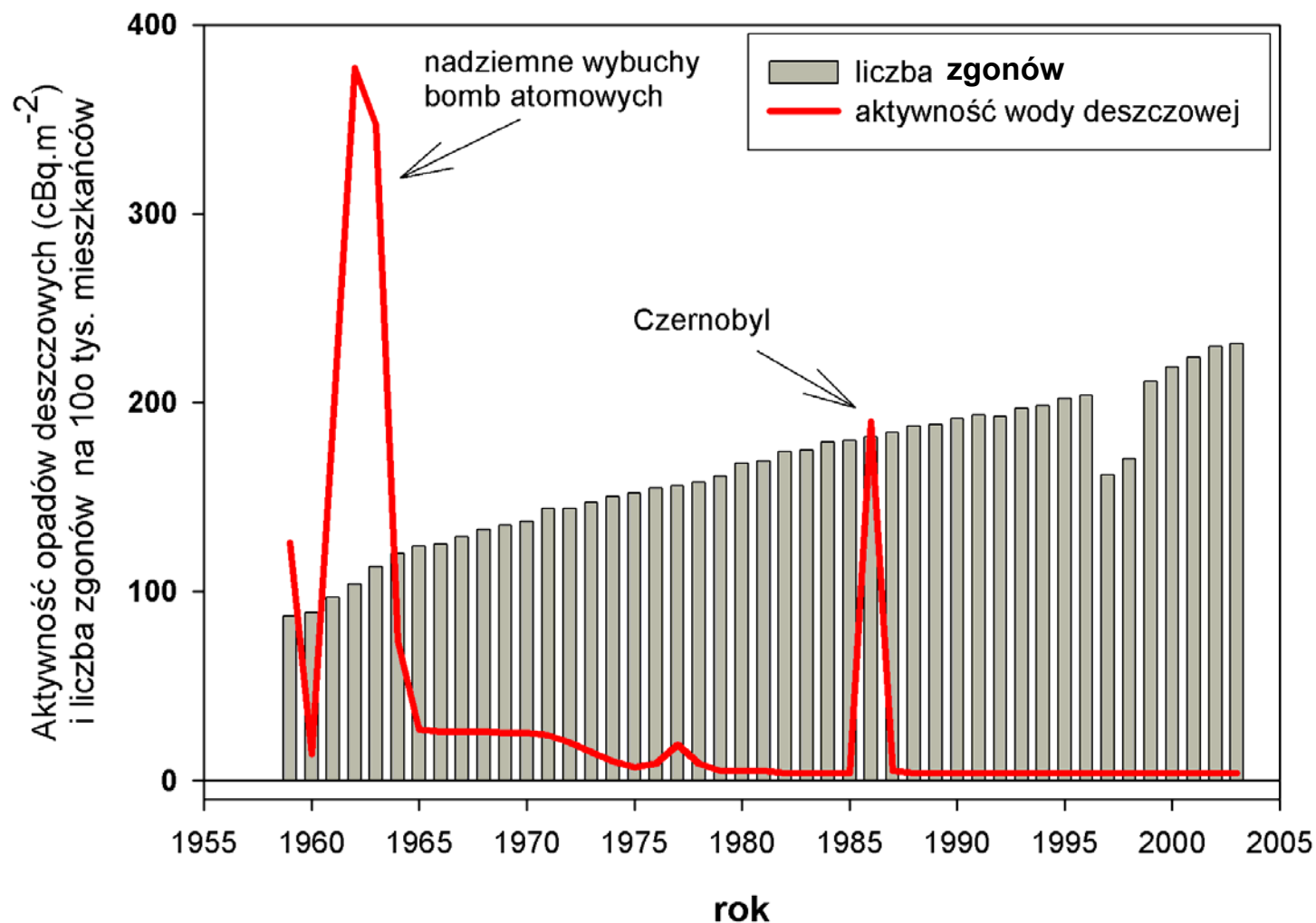
Aktywności Cs-137 w wybranych produktach żywnościowych w Polsce
przed i po awarii w Czarobylu
(źródło: Awaria czarnobylska: skutki zdrowotne w Polsce, PTN 1999)

produkt	izotop	jednostka	przed 1986	1986 1 połowa	1986 2 połowa	1987	1996
mleko	I-131	Bq/L	0	100 - 2000	0	0	
	Cs-137		1	25	2	7	1
jagody	Cs-137	Bq/kg		110	110	35	35
podgrzybki	Cs-137	Bq/kg	60	500	500	500	380
borowiki	Cs-137	Bq/kg	60	75	45	45	45
wołowina	Cs-137	Bq/kg	2	40	50	20	2
dziczyzna	Cs-137	Bq/kg		350			30

średnia roczna dawka skuteczna otrzymana w Polsce w wyniku wchłonięć
z żywnością sztucznych izotopów promieniotwórczych
(źródło: Awaria czarnobylska: skutki zdrowotne w Polsce, PTN 1999)



**Sumaryczna, roczna aktywność (w cBq) wody deszczowej na m² gleby w Polsce
oraz umieralność na nowotwory złośliwe (na 100 tys. mieszkańców)
w latach 1959 - 2003**



źródło: roczniki statystyczne

IV. Jak można policzyć oczekiwaną liczbę zgonów na nowotwór na podstawie znajomości dawki pochłoniętej?

Główne źródło wiedzy o kancerogennym działaniu promieniowania: ofiary z Hiroszimy i Nagasaki

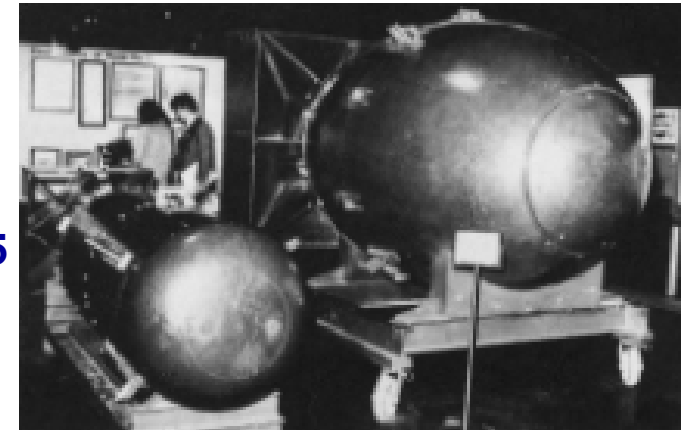


"Little Boy"

6. sierpnia 1945

15 KT TNT

Hiroszima ~ 140 000 ofiar



"Fat Man"

9. sierpnia 1945

20 KT TNT

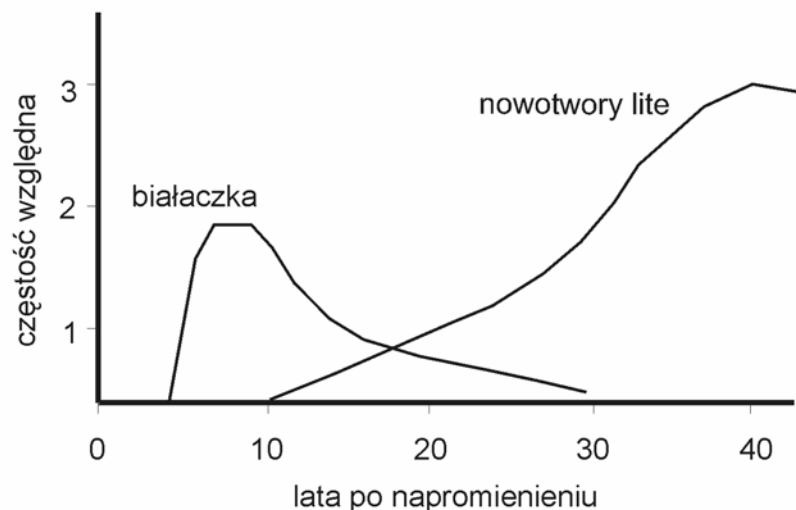
Nagasaki ~ 70 00 ofiar

~ 80 000 osób przeżyło wybuchy

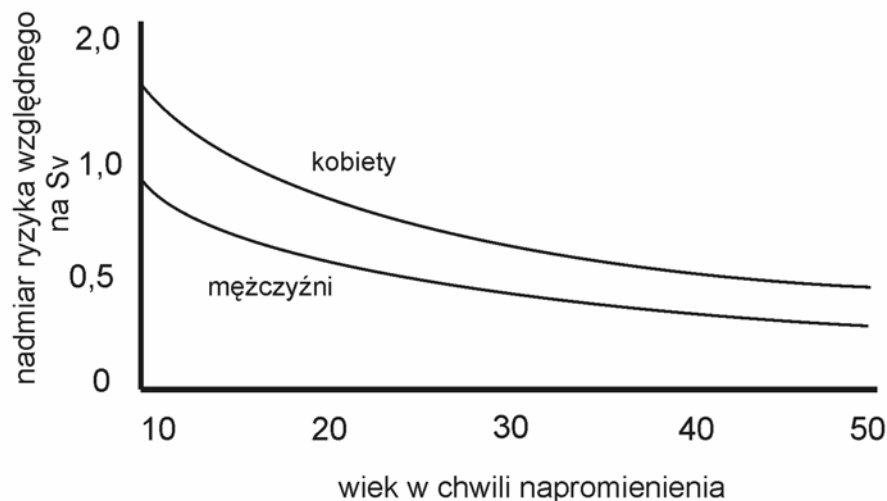
Oznaczono dawkę pochłoniętą każdej osoby i wszystkich objęto programem obserwacji (Life Span Study)

Kinetyka występowania nowotworów popromiennych oraz ryzyko śmierci nowotworowej u mężczyzn i kobiet w zależności od wieku narażenia (w oparciu o dane z Hiroshimy i Nagasaki)

Kinetyka występowania nowotworów po narażeniu



Zależność ryzyka względnego od wieku w momencie napromienienia dla nowotworów łych



Ryzyko względne (relative risk - RR)

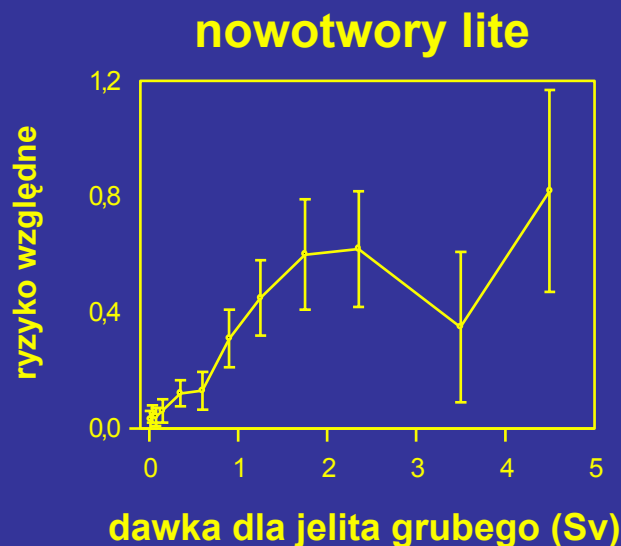
$$RR = \frac{O}{E}$$

O: observed (liczba w grupie napromienionej)
E: expected (liczba w grupie kontrolnej)

Nadmiar ryzyka względnego (Excess relative Risk - ERR)

$$ERR = RR - 1 = \frac{O - E}{E}$$

Zależność dawka-efekt dla ryzyka śmierci nowotworowej ofiar z Hiroshimy i Nagasaki w latach 1950 -1990, wielkość kolektywu: 86 000 osób (Pierce i wsp. 1996)



ICRP 60 (1990)
UNSCEAR 2000

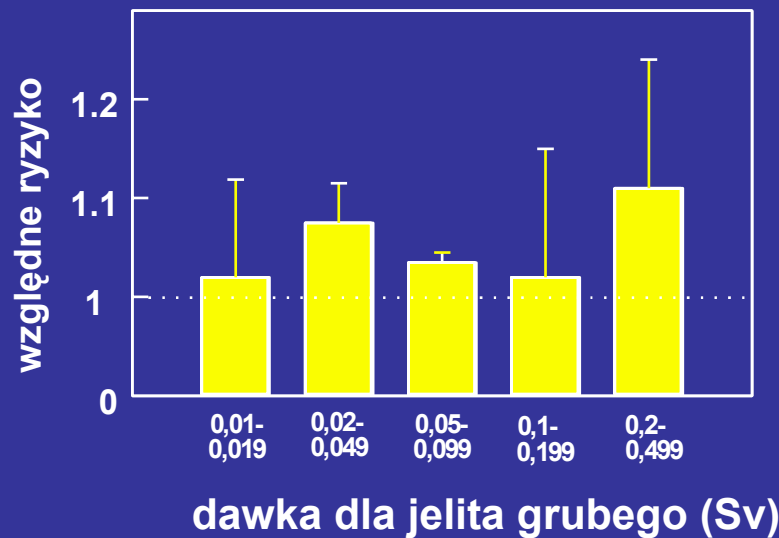


liniowa dla nowotworów łych, liniowo-kwadratowa dla białaczek, bezprogowa zależnoś dawka-efekt

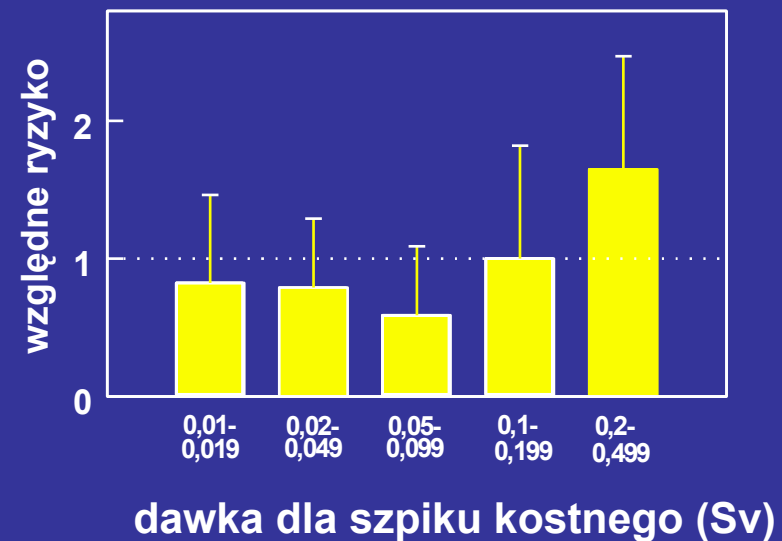
Ryzyko śmierci nowotworowej ofiar z Hiroshimy i Nagasaki po niskich dawkach promieniowania (Shimidzu i wsp. 1992)

Jednoznaczny wzrost ryzyka dopiero po dawce > 200 mSv

nowotwory łe



białaczki



Innym źródłem wiedzy na temat ryzyka promieniowania są wyniki badań nad wpływem radonu na nowotwory płuc

Względne ryzyko umieralności na nowotwory płuc w zależności od stężenia radonu w domach.

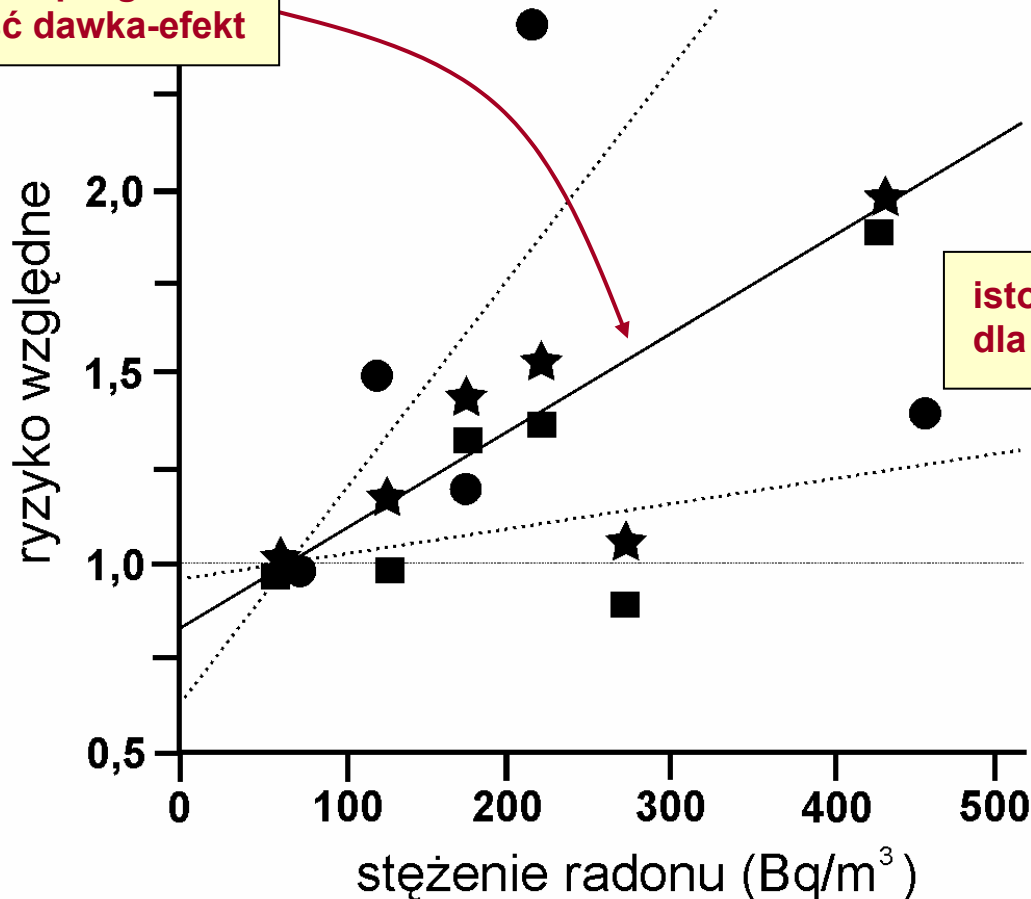
Wyniki badań z rejonów Gansu (kwadraty) i Szejnang (koła) w Chinach.

Gwiazdki pokazują zsumowane wyniki obu analiz. Linie przerywane: 95% korytarz ufności.

JH Lubin et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies.

International Journal of Cancer 109, 132-137, 2004.

liniowa, bezprogowa
zależność dawka-efekt



Jakie jest stanowisko UNSCEAR w sprawie ryzyka niskich dawek promieniowania?

UNSCEAR 2000, Annex G: Biological effects at low radiation doses

540. Although mechanistic uncertainty remains, studies on DNA repair and the cellular/molecular processes of radiation tumorigenesis provide no good reason to assume that there will be a low-dose threshold for the induction of tumours in general. However, curvilinearity of the dose response in the low-dose region, perhaps associated with biochemical stress responses and/or changing DNA repair characteristics, cannot be excluded as a general feature. The mechanistic modelling of radiation tumorigenesis is at a relatively early stage of development, but the data available tend to argue against a dose threshold for most tumour types.

541. Until the above uncertainties on low-dose response are resolved, the Committee believes that an increase in the risk of tumour induction proportionate to the radiation dose is consistent with developing knowledge and that it remains, accordingly, the most scientifically defensible approximation of low-dose response. However, a strictly linear dose response should not be expected in all circumstances.

Jakie jest ryzyko zgonu na chorobę nowotworową na jednostkę dawki

UNSCEAR Report 2000, Annex 1: Epidemiological evaluation of radiation-induced cancer

Nowotwory lity

- Ryzyko życiowe śmierci na nowotwór lity po dawce skutecznej 1 Sv (wysoka moc dawki).
Czynnik niepewności (uncertainty factor): 2

mężczyźni:	9%	dzieci (chłopcy):	18%
kobiety:	13%	dzieci (dziewczynki):	26%
<u>średnia:</u>	<u>11%:</u>	<u>dzieci (średnia):</u>	<u>22%</u>

- Ryzyko życiowe śmierci na nowotwór lity po dawce skutecznej 1 Sv (niska moc dawki).
Czynnik niepewności (uncertainty factor): 2

mężczyźni:	4,5%	dzieci (chłopcy):	9%
kobiety:	6,5%	dzieci (dziewczynki):	13%
<u>średnia:</u>	<u>5,5%:</u>	<u>dzieci (średnia):</u>	<u>11%</u>

Wyniki zgodne z liniowym modelem zależności dawka-efekt

Białaczki

- Ryzyko życiowe śmierci po dawce skutecznej 1 Sv

dla obu płci: 1%

Wyniki zgodne z liniowo-kwadratową zależnością dawka-efekt

dla dawki 0,1 Sv: 0,05%

V. Jakie mogą być skutki awarii czernobylskiej w Polsce? (wszystkie nowotwory)

Skuteczna dawka obciążająca (średnie napromienienie w ciągu 50 lat): 0,9 mSv
(dla porównania: roczna dawka skuteczna w Polsce: 3 mSv)

W oparciu o ICRP-60:

dawka 1 Sv (o niskiej mocy dawki) prowadzi do powstania 500 przypadków raka na 10 000 osób (5%)

w 40 milionowej populacji Polski:

$$500 \times \frac{40\,000\,000}{10\,000} \times 0,0009 \text{ Sv} = 1800 \text{ w ciągu 50 lat!}$$

roczna liczba zgonów na nowotwory w Polsce: 70 000

w ciągu 50 lat umrze $50 \times 70\,000 = 3\,500\,000$ osób

0,05%

36 przypadków na rok

UWAGA! Należy zaznaczyć, że liczba ta opiera się na najbardziej pesymistycznym modelu ryzyka. Istnieją podstawy do założenia, że liczba przypadków może być niższa, natomiast nie ma podstaw do założenia, że będzie ona wyższa.

Dawki dla tarczycy w Polsce i oczekiwane efekty zdrowotne

(na podstawie pomiarów ^{131}I w tarczycy i poziomie skażeń środowiska i żywności)

(źródło: Awaria czarnobylska: skutki zdrowotne w Polsce, PTN 1999)

Maksymalne dawki życiowe na terenach najsilniej skażonych*

wiek w momencie narażenia	maksymalna dawka życiowa w mSv
1 rok	10 - 90
5 lat	15 - 52
10 lat	14 - 42
dorośli	9 - 23

*: w woj. ostrołęckim zarejestrowano maksymalne dawki 200 mSv w przedziale wiekowym 1-10 lat

Na skutek akcji blokady tarczycy jodkiem potasu dawki mogły być zredukowane o 40%

Według UNSCEAR 1998: średnia dawka życiowa dla tarczycy w Polsce: 8-10 mSv

Przewidywana liczba zachorowań na nowotwory tarczycy

Spontaniczna, roczna zapadalność na nowotwory tarczycy (dla obu płci): około 90 / milion*

W wyniku awarii czarnobylskiej można oczekiwać 2-3 przypadków na milion wśród dzieci, które w okresie awarii znajdowały się w grupie wieku 0 - 15 lat.

(Wyleczalność nowotworów tarczycy > 90%)

* dane z 2002 roku: Zatoński i wsp., Nowotwory złośliwe w Polsce w 2002, COI

VI. Dawki i efekty zdrowotne dla obywateli Białorusi, Ukrainy i Rosji

Awaria miała miejsce w Związku Radzieckim!



Podział obywateli Białorusi, Ukrainy i Rosji na grupy narażenia oraz dawki pochłonięte

Grupy narażone

1. Osoby walczące z ogniem (pierwsze 10 dni po awarii)
emergency workers i pracownicy elektrowni (w sumie ~ 500), z czego u 134 wystąpiły objawy ostrej choroby popromiennej
2. Likwidatorzy budujący i konserwujący sarkofag (1986 – 1990)
recovery operation workers (w sumie ~ 600 tys., z czego ~ 200 tys. w latach 1986-1987 otrzymało najwyższe dawki)
3. Osoby ewakuowane z „*exclusion zone*” (około 120 tys.):
zona o promieniu 30 km i tereny o poziomie skażenia $> 555 \text{ kBq/m}^2$
4. Osoby mieszkające na terenach skażonych ($37 - 555 \text{ kBq/m}^2$)
strict control zones – SCZ (~ 270 tys.)

Ewakuację kontynuowano w kolejnych latach

liczba ewakuowanych w latach 1990-1995

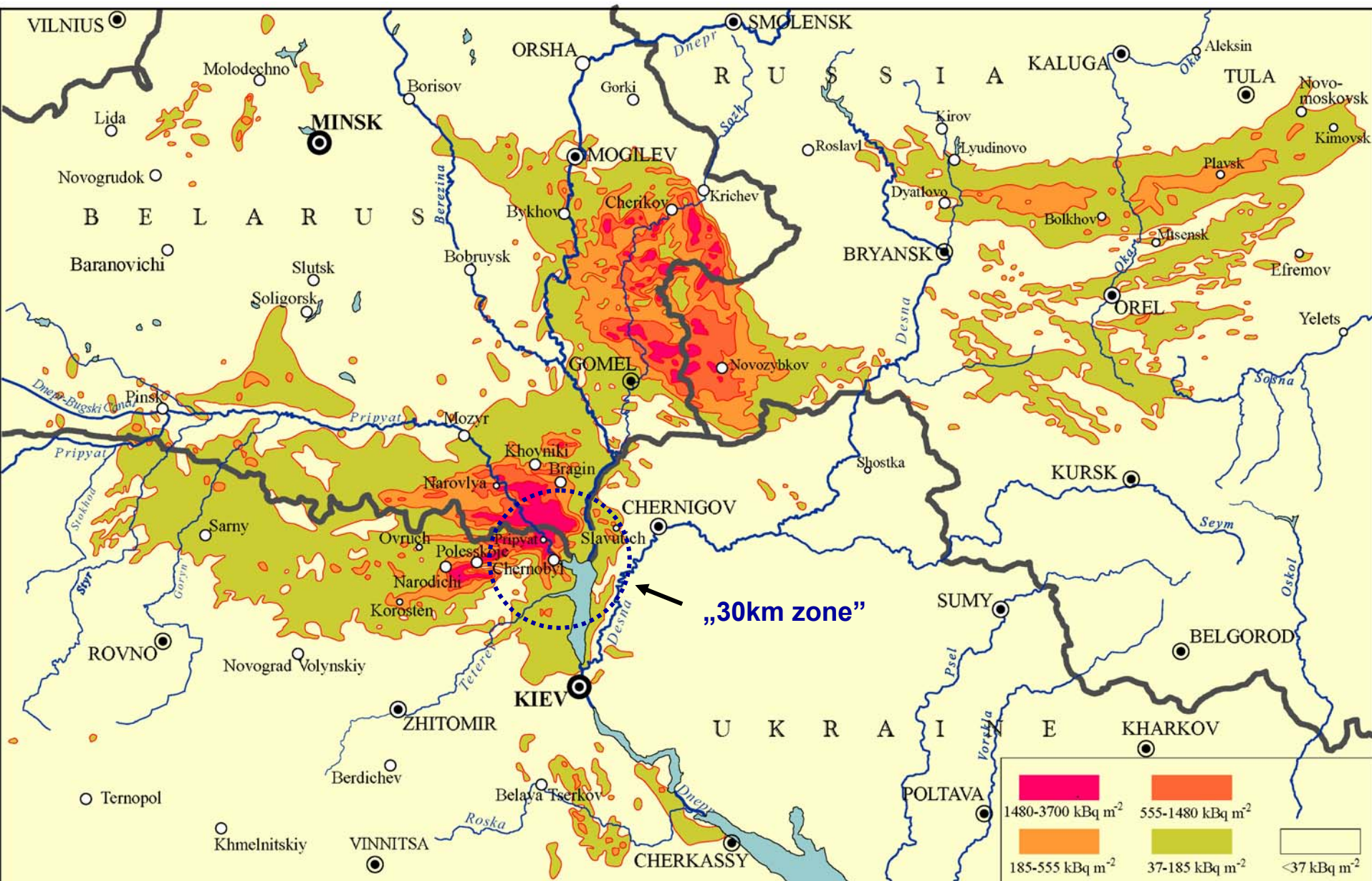
Ukraina: 53 tys.

Białoruś: 107 tys.

Rosja: 50 tys.

Skażenie terenu ^{137}Cs na skutek awarii

UNSCEAR 2000



Population groups evacuated in 1986 from contaminated areas (UNSCEAR 2000)

<i>Country</i>	<i>Area</i>	<i>Date</i>	<i>Number of evacuees</i>
Belarus [M4, S24]	51 villages within the 30-km zone	2–7 May	11 358
	28 villages outside the 30-km zone	3–10 June	6 017
	29 villages outside the 30-km zone	August/September	7 350
	Total of 108 villages		24 725
Russian Federation [S20]	4 villages of Krasnaya Gora district, Bryansk region	August	186
Ukraine [U14]	Pripyat town	27 April	49 360
	Railway station Yanov	27 April	254
	Burakovka village	30 April	226
	15 villages within the 10-km zone	3 May	9 864
	Chernobyl town	5 May	13 591
	43 villages within the 30-km zone	3–7 May	14 542
	8 villages outside the 30-km zone	14–31 May	2 424
	4 villages outside the 30-km zone	10 June–16 August	434
	Bober village	September	711
	Total of 75 settlements		91 406
Former USSR	Total of 187 settlements		116 317

Suma w 1986 roku



**Estimated effective doses from external irradiation
received by the liquidators during 1986-1987
(UNSCEAR 2000)**

<i>Group</i>	<i>Number of workers</i>		<i>Average dose (mSv)</i>	
	<i>1986</i>	<i>1987</i>	<i>1986</i>	<i>1987</i>
Staff of nuclear power plant	2 358	4 498	87	15
Construction workers	21 500	5 376	82	25
Transport, security workers	31 021	32 518	6.5	27
Military servicemen	61 762	63 751	110	63
Workers from other power plants		3 458		9.3
Annual total or average	116 641	109 601	77	47
Total or average	226 242		62	

**Wielkość grup oraz średnie dawki skuteczne dla osób ewakuowanych
w 1986 roku z terenów skażonych wokół Czernobyla
(UNSCEAR 2000)**

Kraj	Liczba osób	średnia dawka skuteczna*
Białoruś	24 725	37 mSv
Ukraina	91 406	31 mSv
Rosja	186	107 mSv

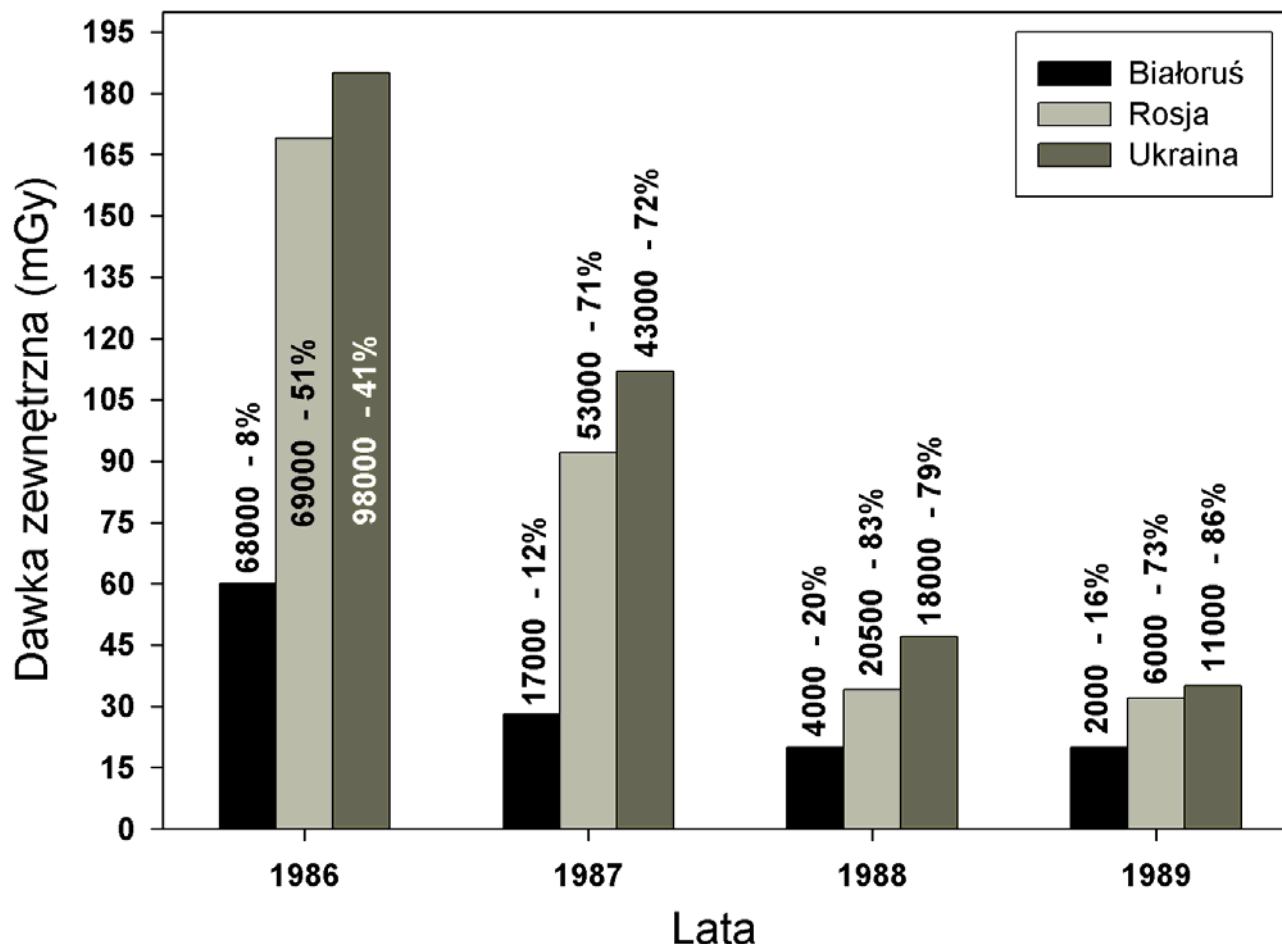
*: dawki zewnętrzne i wewnętrzne bez uwzględnienia dawki dla tarczycy z ^{131}I

Szacuje się, że około 4% osób z Białorusi i Ukrainy otrzymały dawki powyżej 100 mSv

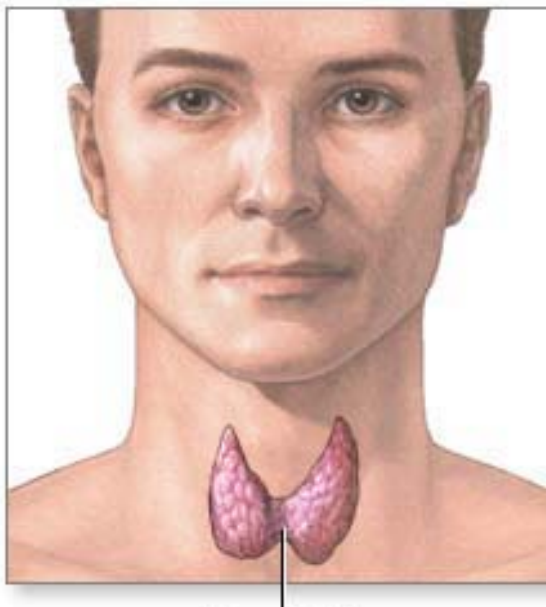
Dawki pochłonięte przez likwidatorów nie są znane w 100%

Dawki zewnętrzne dla likwidatorów z Białorusi, Rosji i Ukrainy w latach 1986-1989.

Liczby nad słupkami pokazują wielkość grupy (w liczbach pracowników)
oraz procent osób, dla którego dawki pochłonięte są rzeczywiście znane.
(WHO 2006)



VII. Dawki dla tarczycy oraz nowotwory tarczycy wśród osób narażonych na ^{131}I uwolniony na skutek awarii

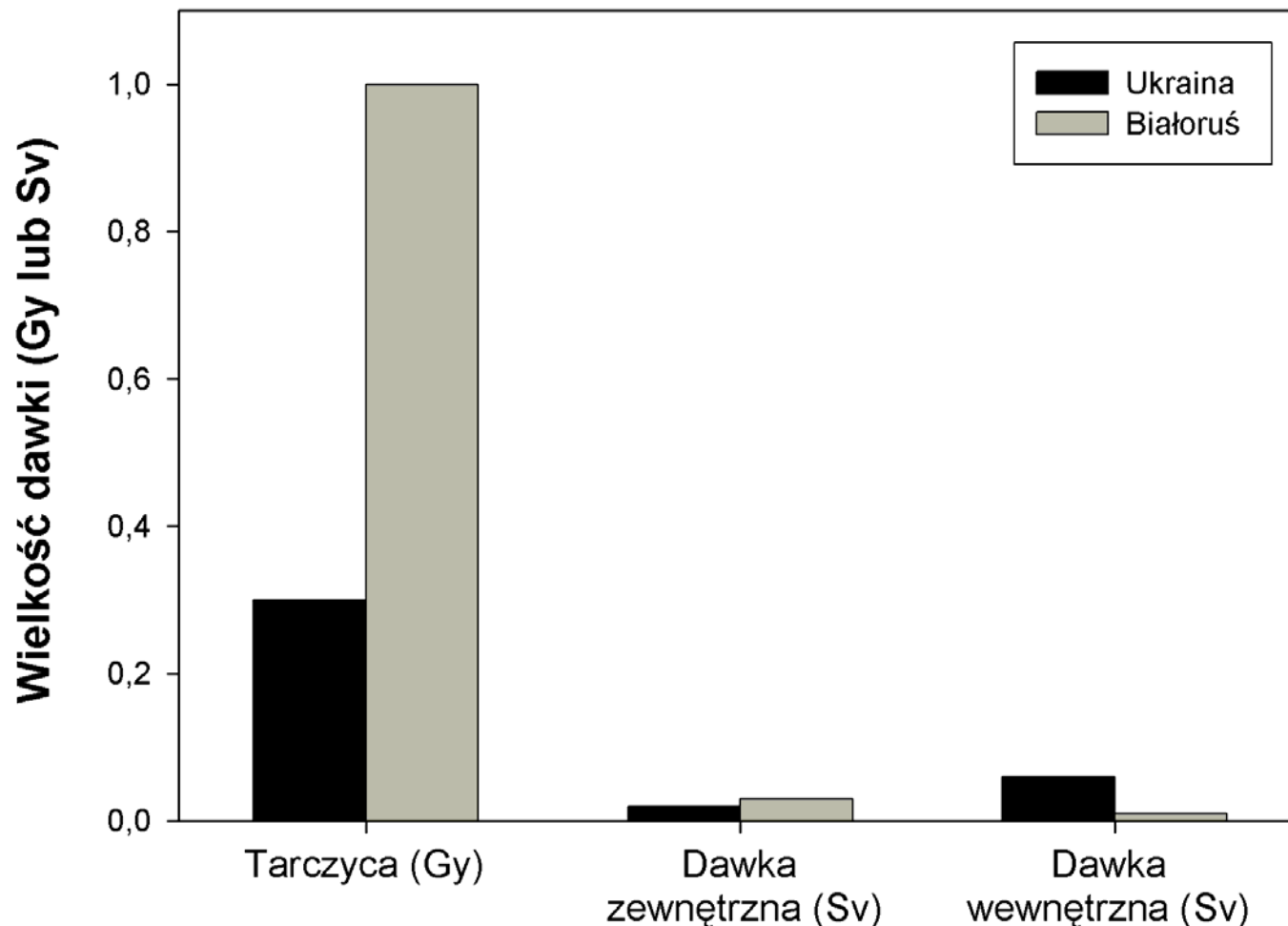


tarczyca

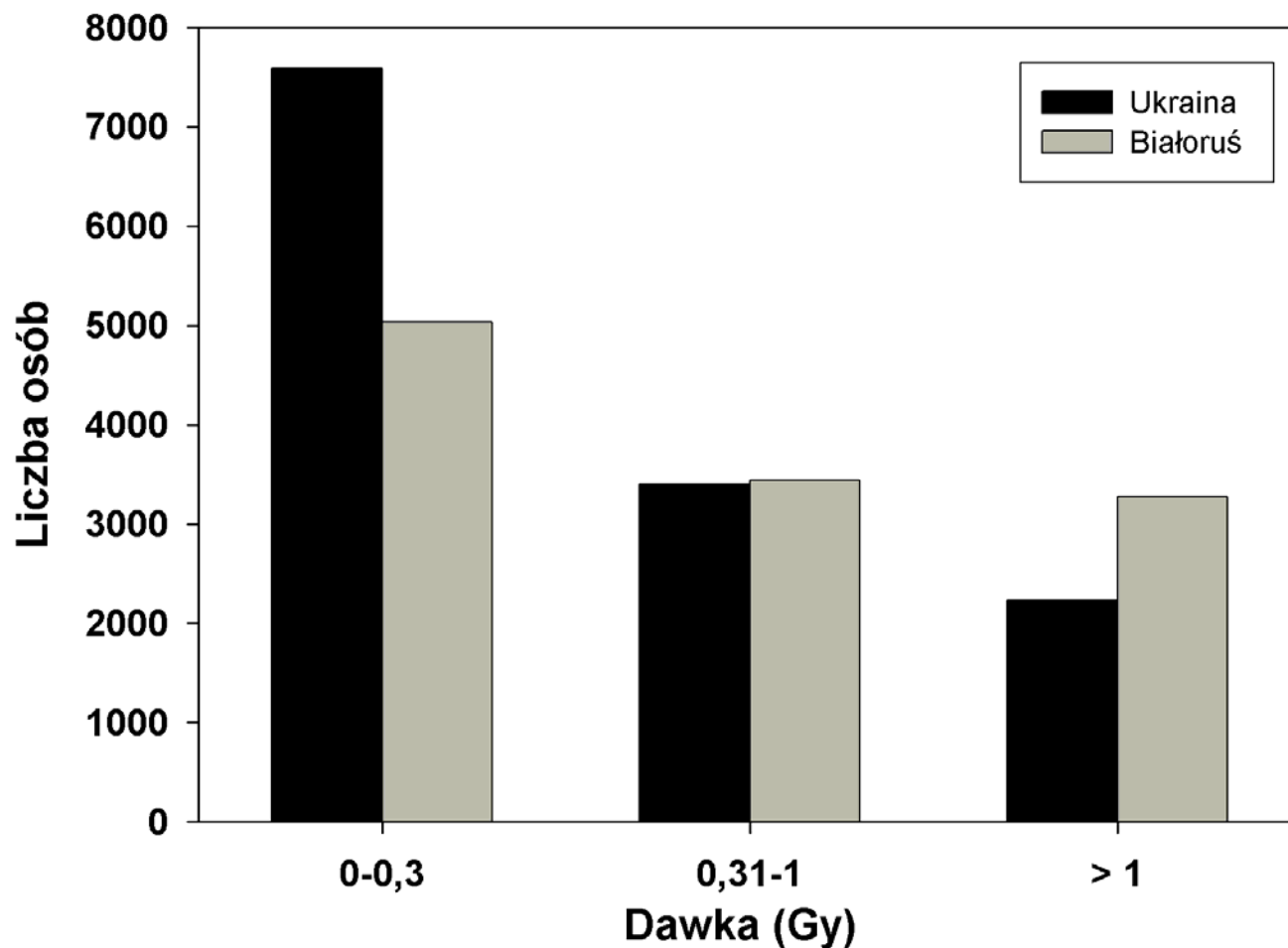
Wyleczalność nowotworów tarczycy > 95%

Tarczyca była narządem najsilniej narażonym na skutek awarii

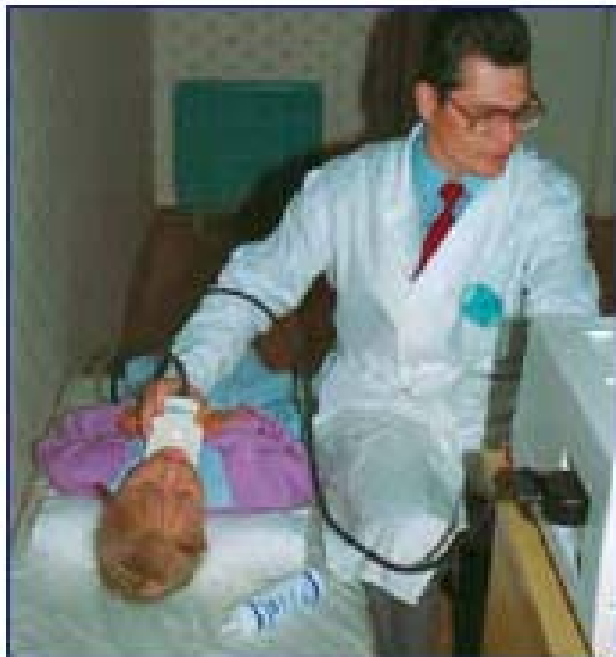
Zestawienie oszacowanych dawek dla tarczycy i dawek skutecznych wewnętrznych i zewnętrznych dla ludności ewakuowanej ze skażonych obszarów w 1986 roku
(WHO 2006)



Rozkład dawek w tarczycy dla około 350 tys. osób będących przedmiotem badań epidemiologicznych zapadalności na raka tarczycy na Ukrainie i Białorusi.
(WHO 2006)



Metody pomiaru dawek dla tarczycy wykonanych w ciągu kilku tygodni po awarii w Czernobylu

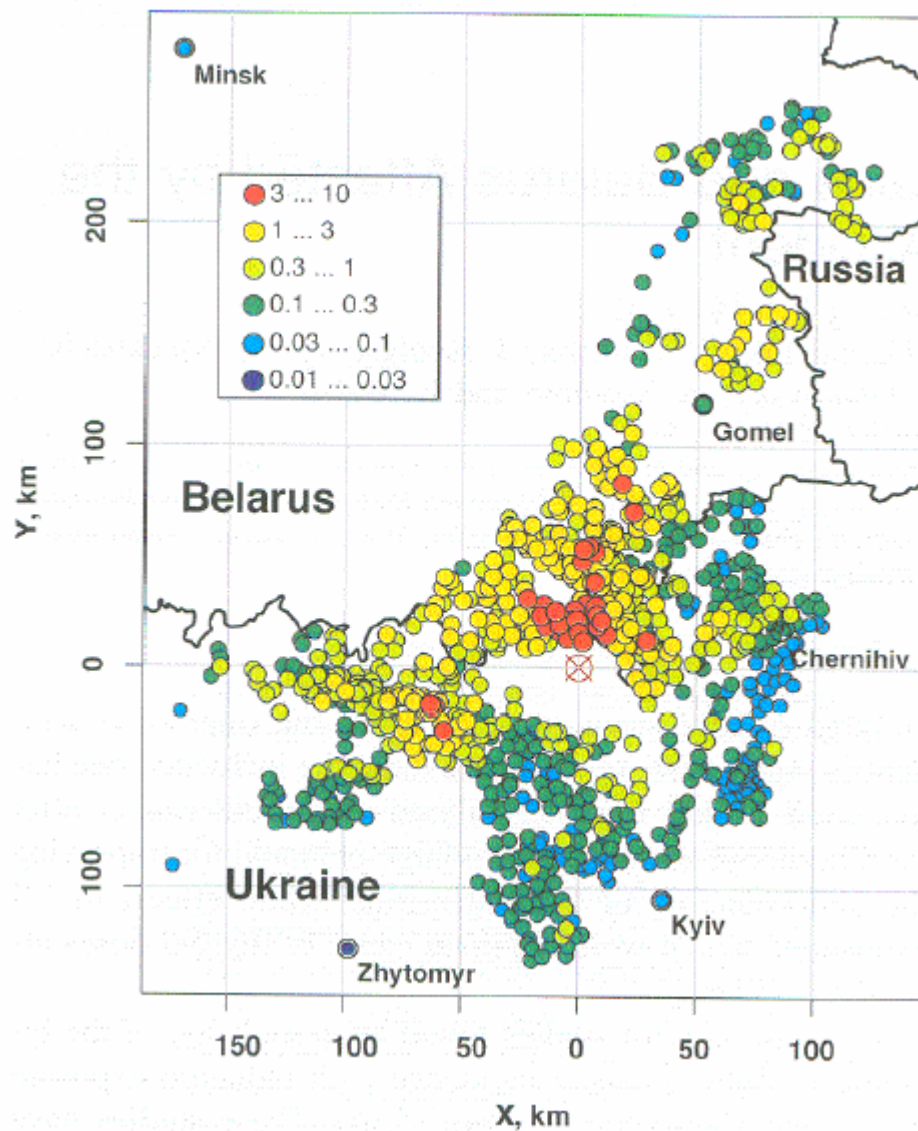


Liczba wykonanych pomiarów ~350 tysięcy

Problem: pomiar wykonano raz, często nie zwracano uwagi na skażenie ubrania i skóry

Liczba osób dla których oszacowano dawki na podstawie danych demograficznych i geograficznych: ~ 9 milionów

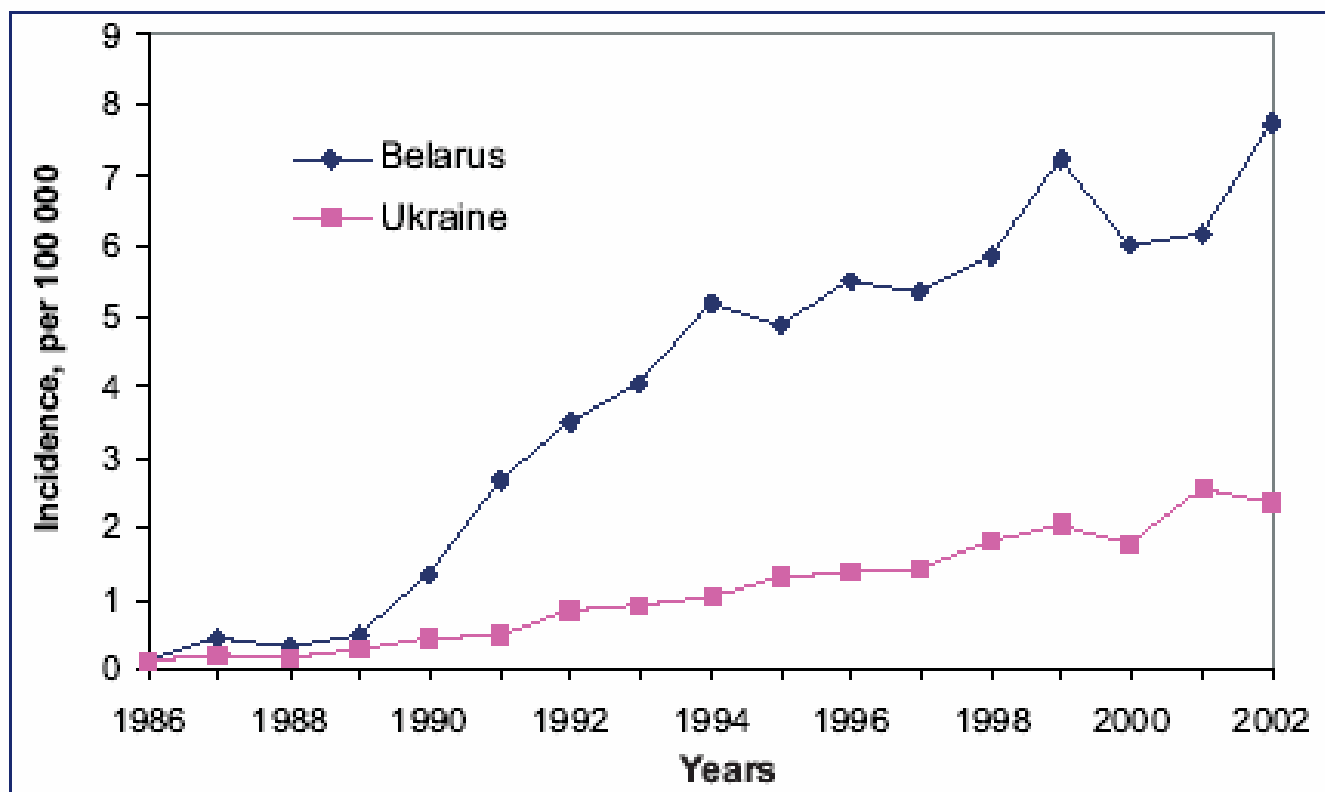
Przykładowa mapa rozkładu dawek (w Gy) dla tarczycy w 608 rejonach pomiarowych Ukrainy i 426 rejonach Białorusi
(Jacob et al. Radiation Research 165:1-8, 2006)



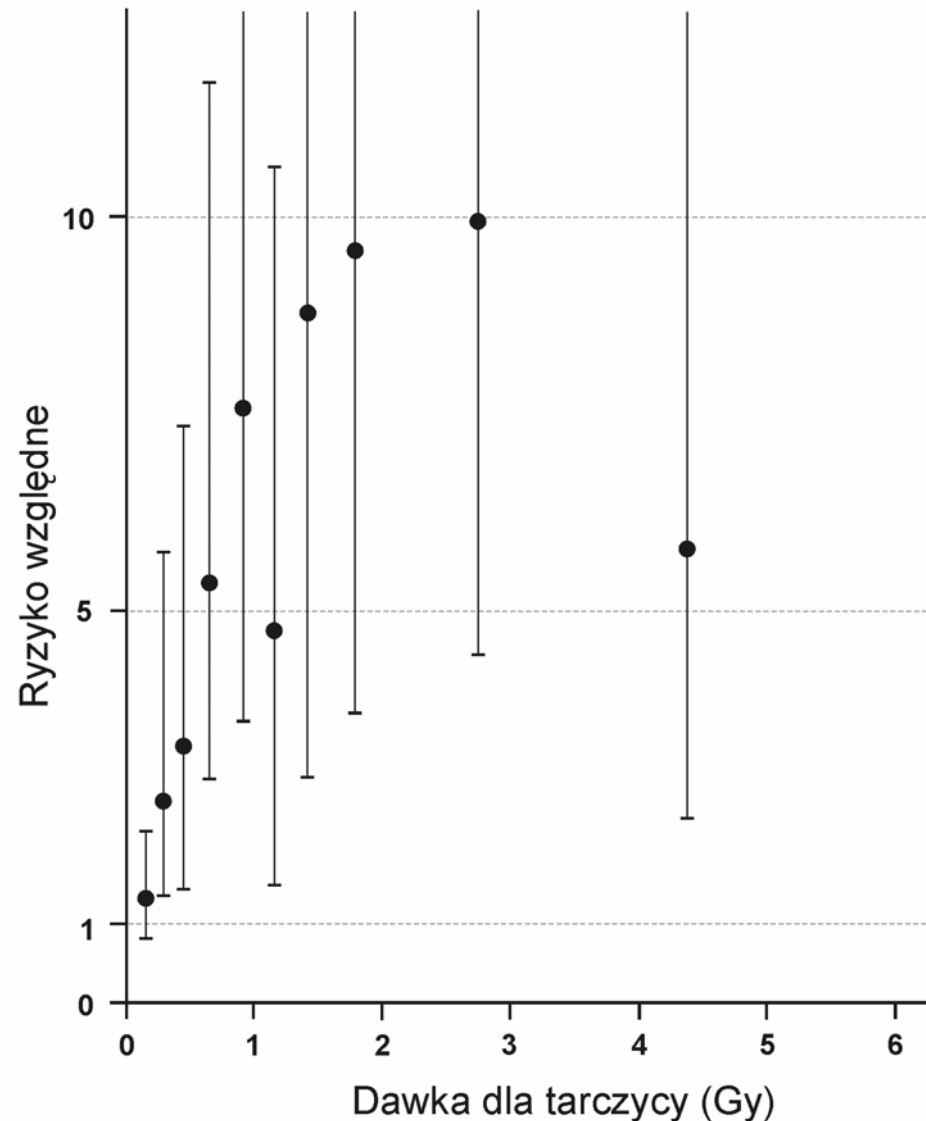
Zapadalność na nowotwory tarczycy u osób urodzonych przed awarią w Czernobylu

Suma przypadków > 4000

(Chernobyl Forum 2003-2005)



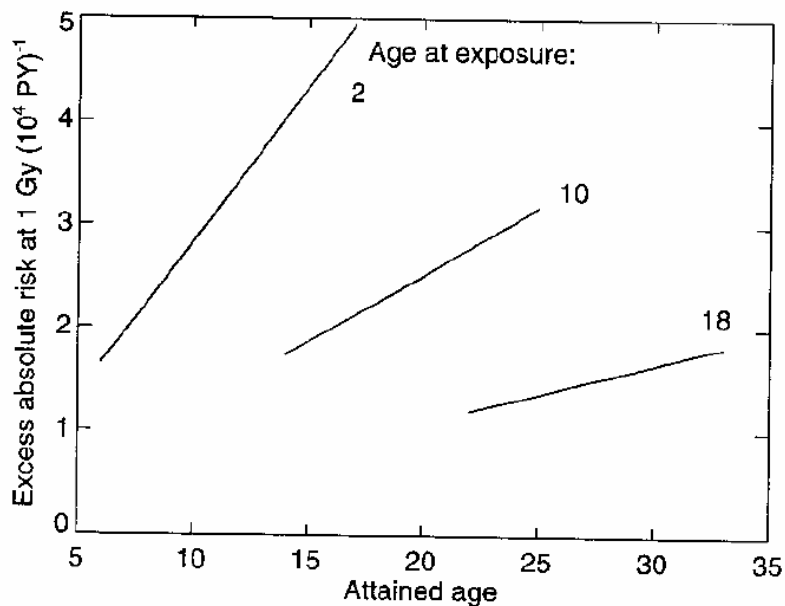
**Ryzyko względne nowotworów tarczycy u osób narażonych na promieniowanie
w wieku 0-18 lat, jako funkcja dawki dla tarczycy.
Słupki błędów symbolizują 95% korytarz ufności.**



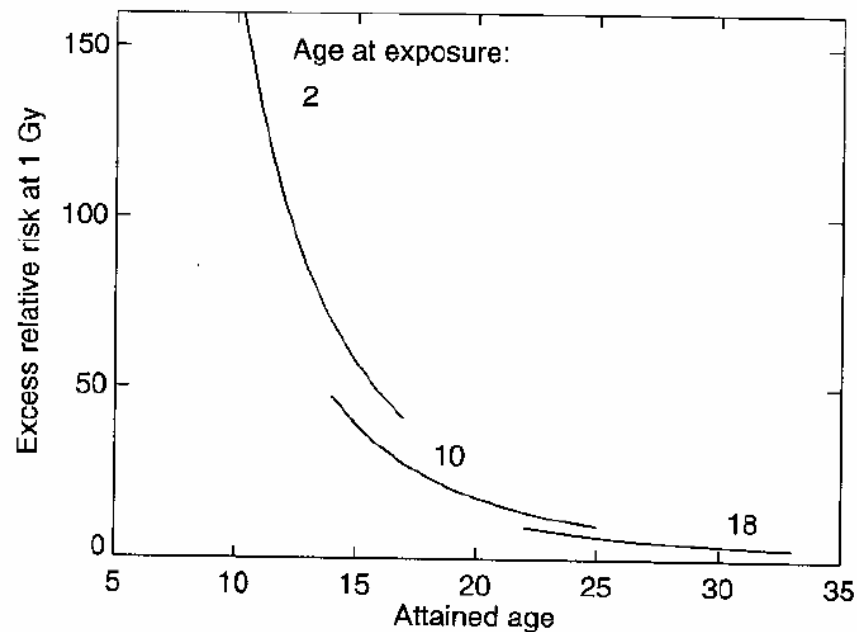
(WHO 2006)

Poziom ryzyka bezwzględnego i względnego dla dawki 1 Gy w zależności od wieku narażenia i długości życia (Jacob et al. Radiation Research 165:1-8, 2006)

Nadmiar ryzyka bezwzględnego



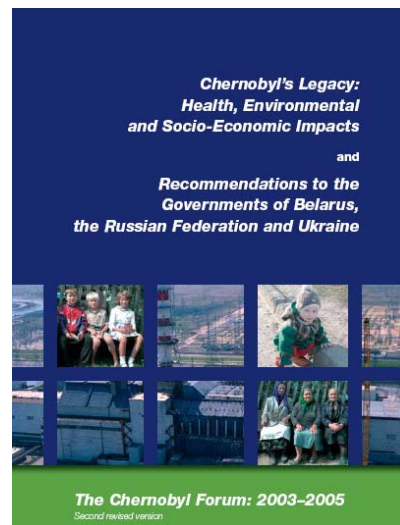
Nadmiar ryzyka względnego



Czy obserwowany wzrost zapadalności na nowotwory tarczycy jest wynikiem tzw. efektu badań przesiewowych ?

I. Co piszą o tym eksperci w raporcie „Chernobyl Forum 2003-2005”

From 1992 to 2002 in Belarus, Russia and Ukraine more than 4000³ cases of thyroid cancer were diagnosed among those who were children and adolescents (0–18 years) at the time of the accident, the age group 0–14 years being most affected; see Fig. 3. The majority of these cases were treated, with favourable prognosis for their lives. Given the rarity of thyroid cancer in young people, the large population with high doses to the thyroid and the magnitude of the radiation-related risk estimates derived from epidemiological studies, it is most likely that a large fraction of thyroid cancers observed to date among those exposed in childhood are attributable to radiation exposure from the accident. It is expected that the increase in thyroid cancer incidence from Chernobyl will continue for many more years, although the long term magnitude of risk is difficult to quantify.



The Chernobyl Forum



Belarus



the Russian Federation



Ukraine

Czy obserwowany wzrost zapadalności na nowotwory tarczycy jest wynikiem tzw. efektu badań przesiewowych ?

II. Co piszą o tym eksperci w raporcie UNSCEAR 2000

ANNEX J

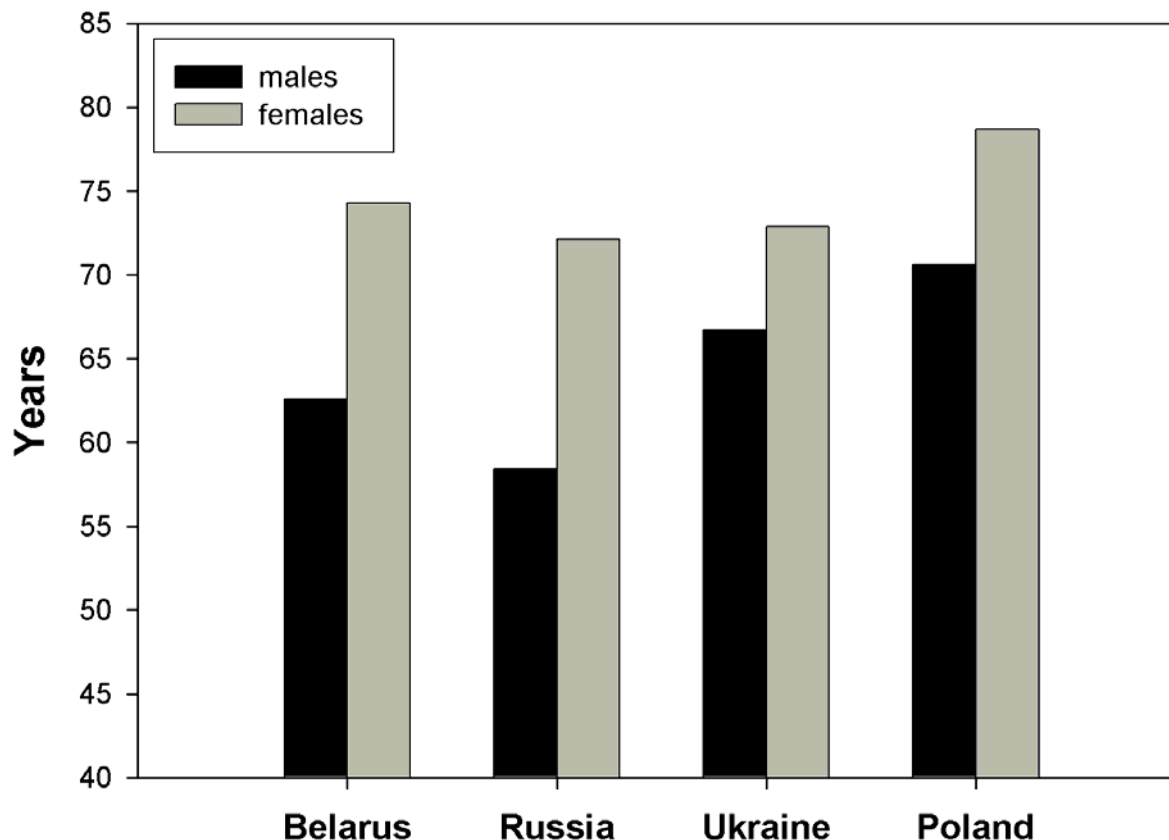
Exposures and effects of the Chernobyl accident



289. Although ultrasound screening is not sufficiently widespread to explain the majority of the thyroid cancer cases observed until now, it is clear that increased awareness and medical attention to thyroid disorders during routine medical examinations in the contaminated territories influence the findings. Enhanced examinations in schools may have advanced the time at which some tumours were recognized [A5]. However, the continuing increase in the number of cases [C4, I27, K41] and the observation that the increase appears to be confined to children who were born before the accident support the conclusion that ascertainment bias could not fully explain the increased rates. Rates among those conceived after the accident appear to be similar to pre-accident rates in the affected countries.

VIII. Efekty zdrowotne poza nowotworami tarczycy wśród obywateli Białorusi, Rosji i Ukrainy narażonych na skutek awarii w Czernobylu

Life expectancy at birth for males and females of Belarus, Russia, Ukraine and Poland in 2000
(WHO 2006)



Oczekiwana długość życia spadła o ~2 lata na Białorusi, Ukrainie i w Rosji po rozpadzie Związku Radzieckiego

Efekty wśród grupy tzw. *emmergency workers* - osób walczących z ogniem przez pierwsze 10 dni po awarii oraz wśród pracowników elektrowni obecnych na terenie elektrowni w momencie awarii

Spośród **134** osób, u których stwierdzono objawy ostrej choroby popromiennej

- 28** zmarło w 1986 r na skutek choroby popromiennej
- 19** zmarło w latach 1987 – 2004 na skutek różnych przyczyn

Białaczki wśród likwidatorów i osób ewakuowanych oraz mieszkających na terenach skażonych (WHO 2006)

Opublikowane wyniki wielu badań są sprzeczne ale ogólnie można powiedzieć:

Białaczki u osób narażonych *in utero* lub w wieku dziecięcym:

nie ma jednoznacznych danych wskazujących na wzrost zachorowalności lub umieralności.

Białaczki u osób narażonych w wieku dorosłym:

tylko jedno badanie wśród likwidatorów dało jasny wynik dodatni. Należy pamiętać, że dotyczy ono likwidatorów rosyjskich narażonych na stosunkowo wysokie dawki promieniowania (150-300 mSv).

Nowotwory łte wśród likwidatorów i osób ewakuowanych oraz mieszkających na terenach skażonych (WHO 2006)

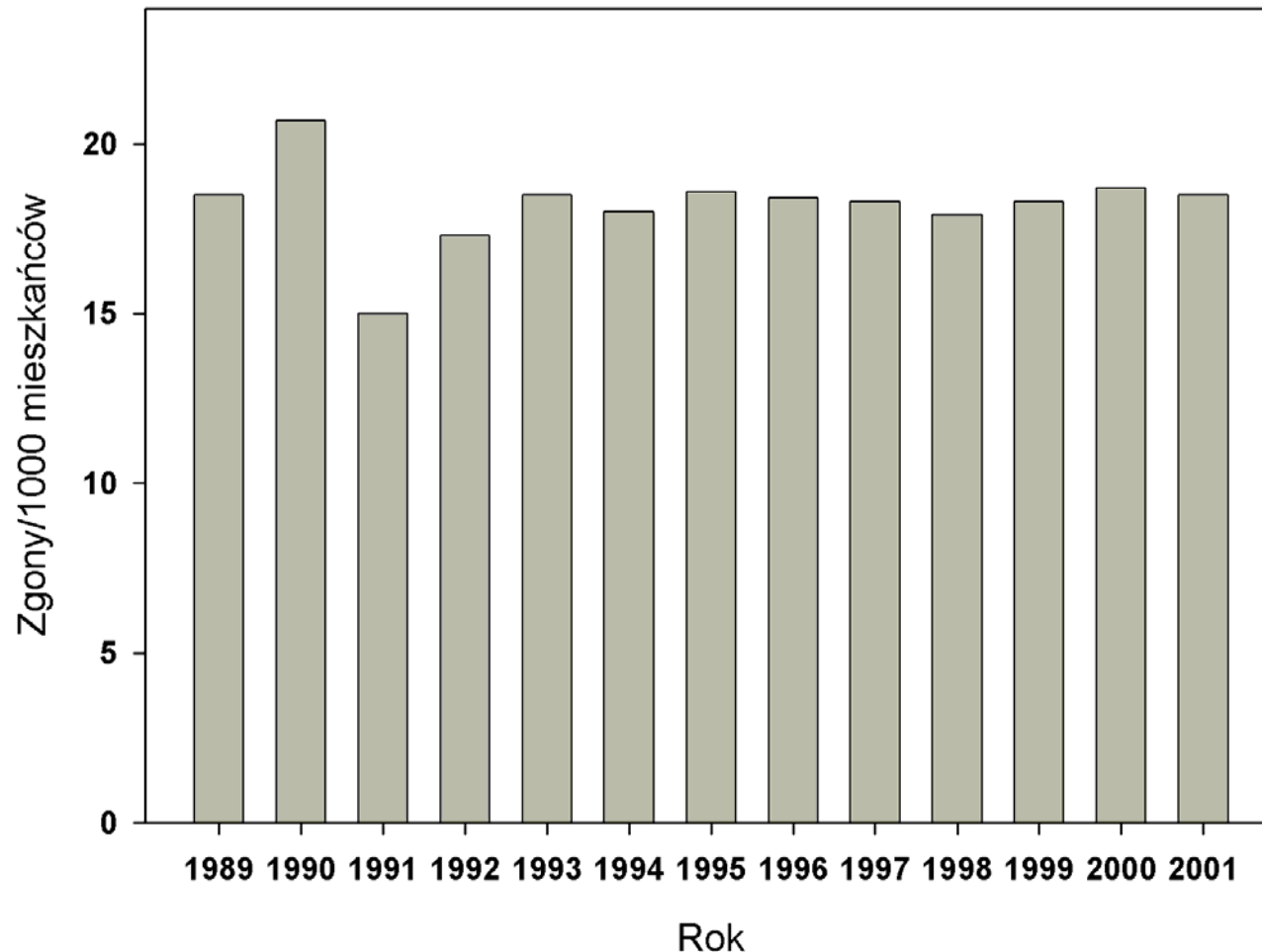
Opublikowane wyniki wielu badań są sprzeczne ale ogólnie można powiedzieć:

Nie stwierdzono wzrostu zachorowalności lub umieralności na nowotwory łte z wyjątkiem nowotworu sutka wśród likwidatorów płci żeńskiej i kobiet ewakuowanych. Wynik ten wymaga potwierdzenia.

Należy pamiętać, że nowotwory łte ujawniają się po długim czasie utajenia więc jest za wcześnie na ostateczne wnioski!

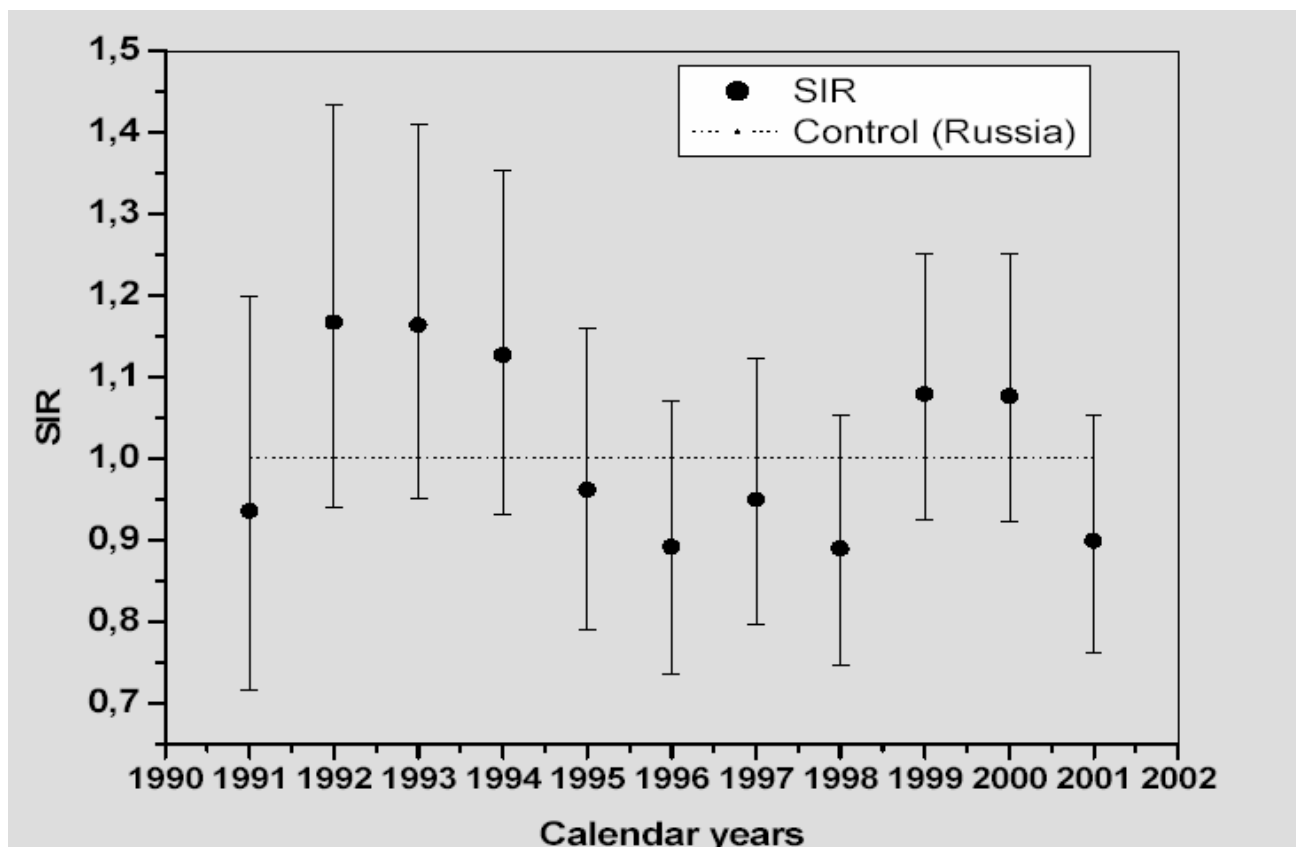
Awaria w Czernobylu nie spowodowała w latach 1986 - 2001 zauważalnego, ogólnego wzrostu umieralności wśród mieszkańców skażonych terenów

Roczne liczby zgonów na 1000 mieszkańców rejestrowane na skażonych terenach Ukrainy
(WHO 2006)



Awaria w Czernobylu nie spowodowała ogólnego wzrostu zachorowalności na nowotwory łe w latach 1990 – 2001 wśród mieszkańców terenów skażonych

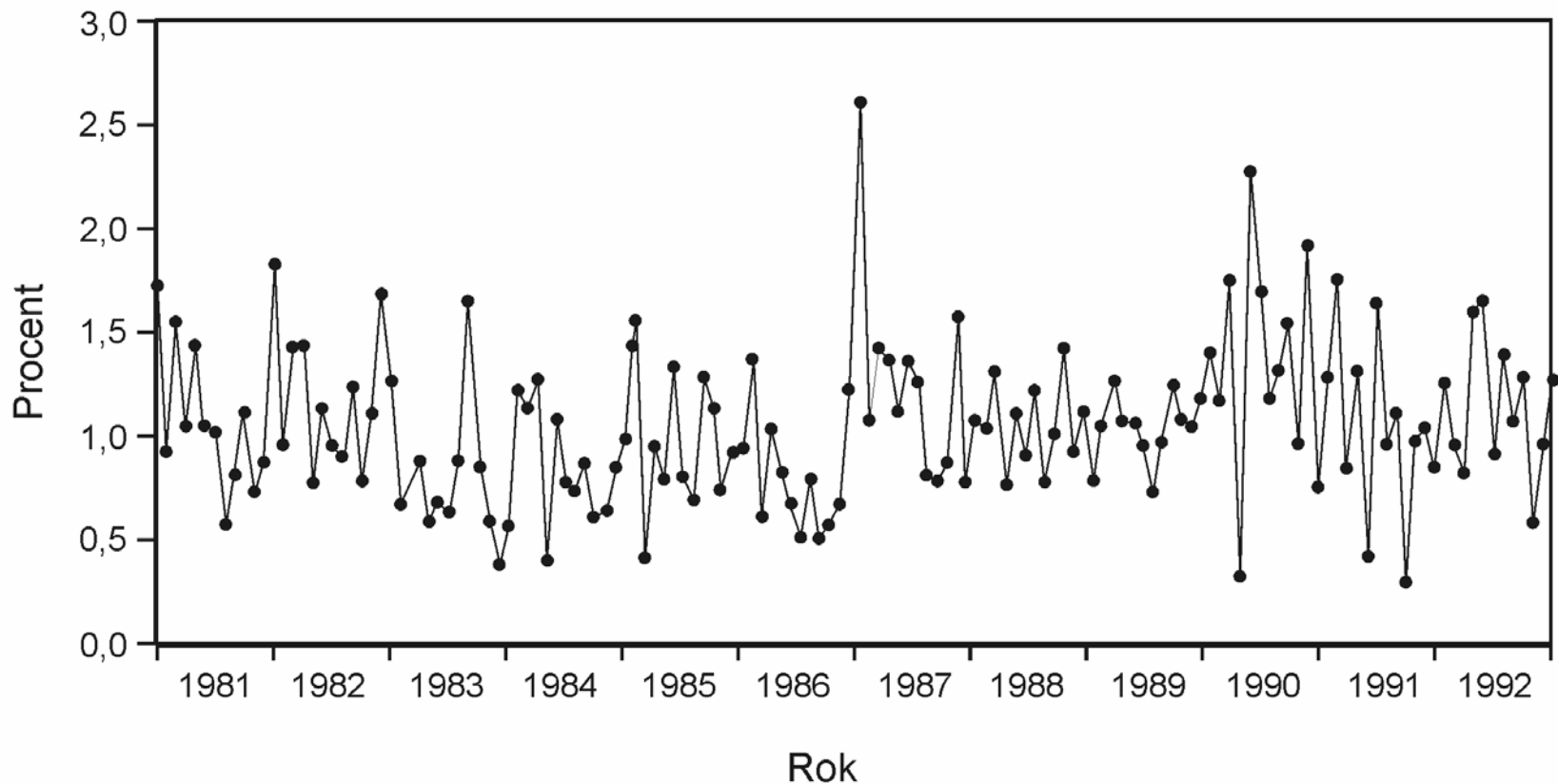
Dynamics of SIR* for all forms of solid cancer among residents of 5 rayons of the Bryansk oblast (both sexes) who received average effective doses of 50 mSv in the years 1986-2001 (WHO 2006)



* SIR: standaryzowany współczynnik zachorowalności

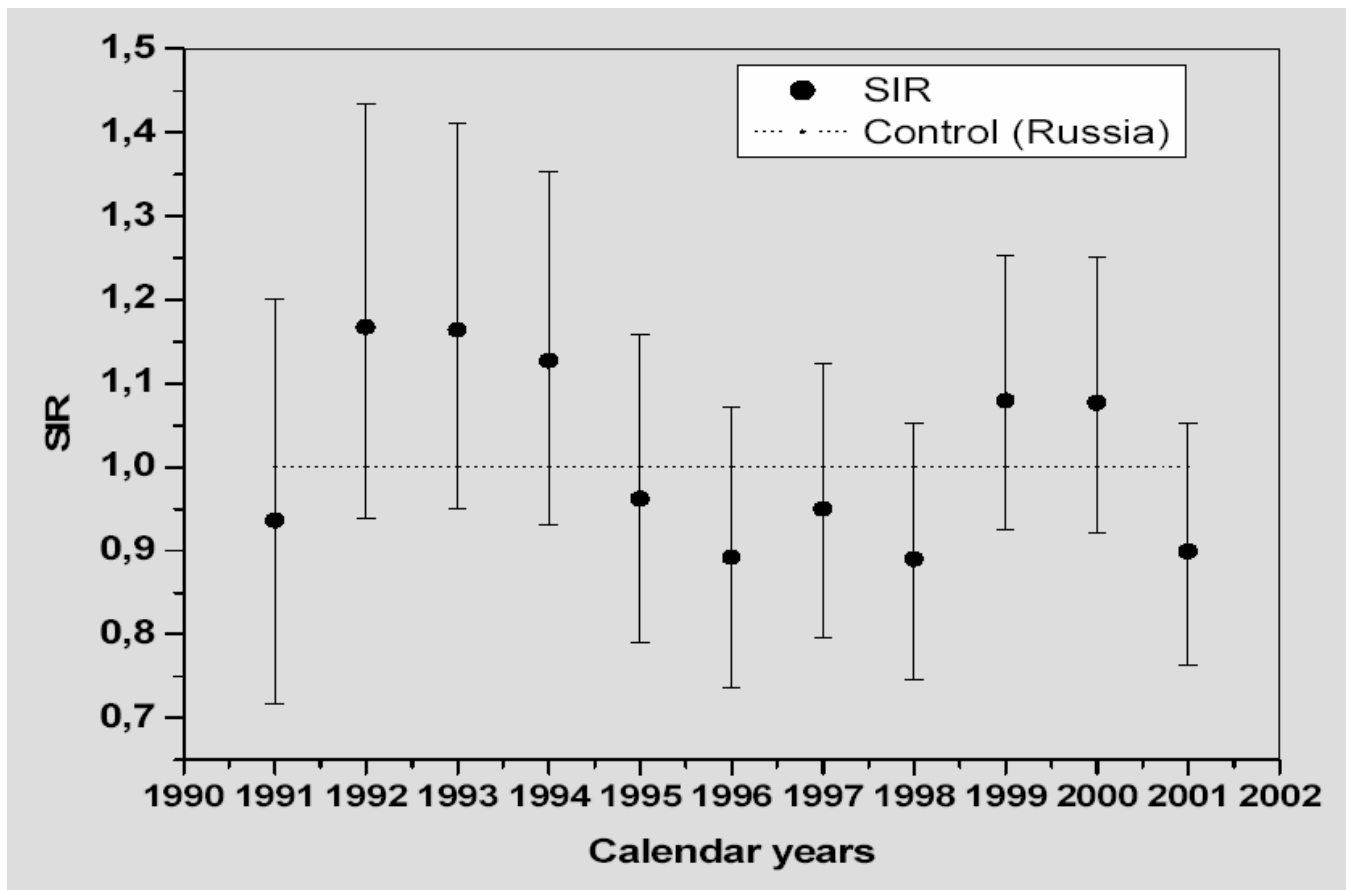
Awaria w Czernobylu nie wywołała wzrostu zapadalności na choroby genetyczne wśród dzieci

Miesięczna prewalencja (liczba zarejestrowanych przypadków wśród osób żywych)
zespołu Downa na Białorusi, przedstawiona jako procent wszystkich
przypadków zarejestrowanych w latach 1981-1992
(WHO 2006)



Awaria w Czernobylu nie spowodowała ogólnego wzrostu zachorowalności na nowotwory łe w latach 1991 – 2001 wśród likwidatorów

Standardized incidence ratios (SIR*) for solid cancers comparing Russian liquidators (data points with error bars) with the general Russian population (straight line) for the years 1990-2001 (WHO 2006)



* SIR: standaryzowany współczynnik zachorowalności

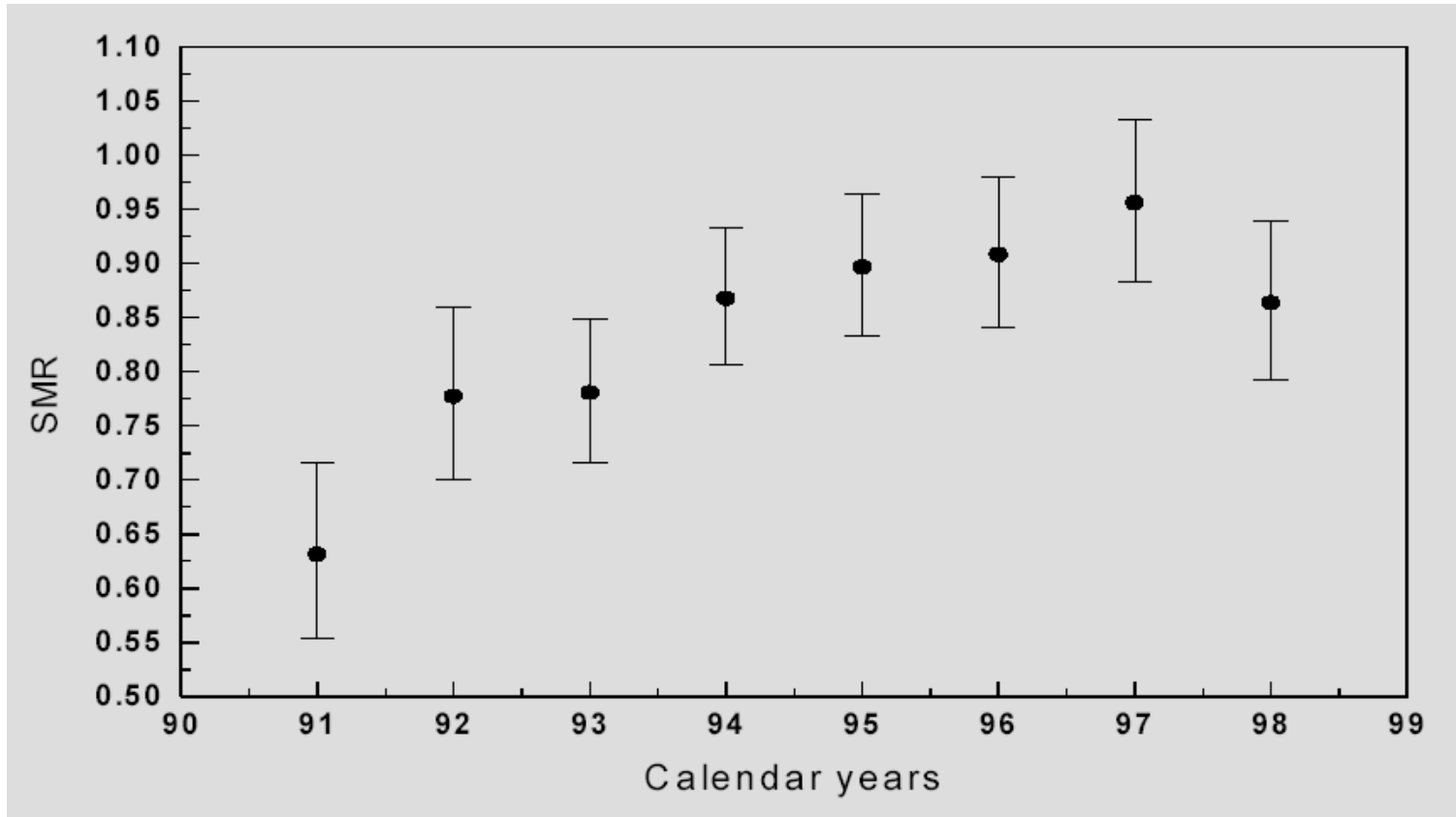
PREDICTION of background and excess deaths from solid cancers and leukaemia in populations exposed as a result of the Chernobyl accident (WHO 2006)

Population	Population size Average dose	Cancer type	Period	Background number	Excess number	Percent of background
Liquidators 1986-1987	200 000 100 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 yrs)	41 500	2 000	5 %
		Leukaemia	Lifetime (95 yrs)	800	200	25 %
		Leukaemia	First 10 years	40	150	375 %
Evacuees from 30 km zone	135 000 10 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 yrs)	21 500	150	0.7 %
		Leukaemia	Lifetime (95 yrs)	500	10	2 %
		Leukaemia	First 10 years	65	5	8 %
Residents of strictly controlled zone	270 000 50 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 yrs)	43 500	1500	3 %
		Leukaemia	Lifetime (95 yrs)	1 000	100	10%
		Leukaemia	First 10 years	130	60	46 %
Residents of other contaminated areas	6 800 000 7 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 yrs)	800 000	4 600	0.6 %
		Leukaemia	Lifetime (95 yrs)	24 000	370	1.5 %
		Leukaemia	First 10 years	3 300	190	5.7 %
				Sum solid:	8 250	} ~ 9 000
				Sum leukaemia:	680	

UWAGA! Należy zaznaczyć, że liczby te opierają się na najbardziej pesymistycznym modelu ryzyka. Istnieją podstawy do założenia, że liczby przypadków mogą być niższe, natomiast nie ma podstaw do założenia, że będą one wyższe.

Efekty psychologiczne

Standardized mortality ratio (SMR*) for non-cancer diseases in Russian liquidators compared to the general population for the years 1991-1998 (WHO 2006)



* SMR: standaryzowany współczynnik umieralności

Efekty psychologiczne

Wpływ awarii czernobylskiej na zdrowie psychiczne jest najpoważniejszym następstwem w zakresie zdrowia publicznego.

Stwierdzono zespół objawów postresowych, wpływ na rozwój mózgu, organiczne choroby układu nerwowego i częstość samobójstw wśród likwidatorów.

Objawy zespołu postresowego to wzrost częstości i poziomu depresji oraz stanów lękowych, jak również medycznie nie wytłumaczalne objawy fizyczne. Wszystko to stwierdzono częściej wśród ludności eksponowanej na skutki katastrofy niż wśród populacji kontrolnej. Najczęściej wspomniane następstwa psychiczne w populacji narażonej miały charakter subkliniczny i nie osiągały nasilenia, które uzasadniałyby rozpoznawanie chorób psychicznych.

Kontrolowane badania nie potwierdziły obiektywnie uchwytnej nieprawidłowości w walorach intelektualnych u dzieci napromienionych *in utero* lub po urodzeniu – mimo częstych skarg rodziców. Również liczne doniesienia na temat zaburzeń psychicznych i neurologicznych wśród likwidatorów w Rosji i na Ukrainie nie znalazły potwierdzenia w niezależnych badaniach.

Wnioski

- Zaobserwowane nasilenie kancerogennych następstw promieniowania jonizującego dla zdrowia po awarii w Czernobylu nie wykracza poza poziom oczekiwany z przeprowadzonych w ostatnim 50-leciu badań epidemiologicznych na innych populacjach.
- Zaskoczeniem był krótki okres utajenia nowotworów tarczycy u dzieci i młodzieży narażonej na wchłanianie ^{131}I . Wydaje się, że istotny wpływ na szybkość manifestacji tego zjawiska mógł mieć niedobór jodu w pożywieniu na niektórych obszarach, ale sprawa nie została definitywnie wyjaśniona.
- Nie przewidywano tak znacznego nasilenia następstw psychologicznych i społecznych, które były skutkiem stresu panującego wśród ludności.
- Do tej pory nie stwierdzono jednoznacznego wzrostu zapadalności i umieralności na białaczkę i nowotwory łagodne poza tarczycami. Wyjątkiem mogą być nowotwory piersi. Biorąc pod uwagę długi czas utajenia popromiennych nowotworów łagodnych nie można wykluczyć, że w nadchodzących dekadach ujawni się wzrost liczby nowotworów łagodnych przy spadku udziału białaczek w umieralności.

Dziękuję za uwagę

