

Wydział Fizyki UW
Podstawy bezpieczeństwa energetyki
jądrowej, 2018

1. WPŁYW MAŁYCH DAWEK
PROMIENIOWANIA
NA ZDROWIE

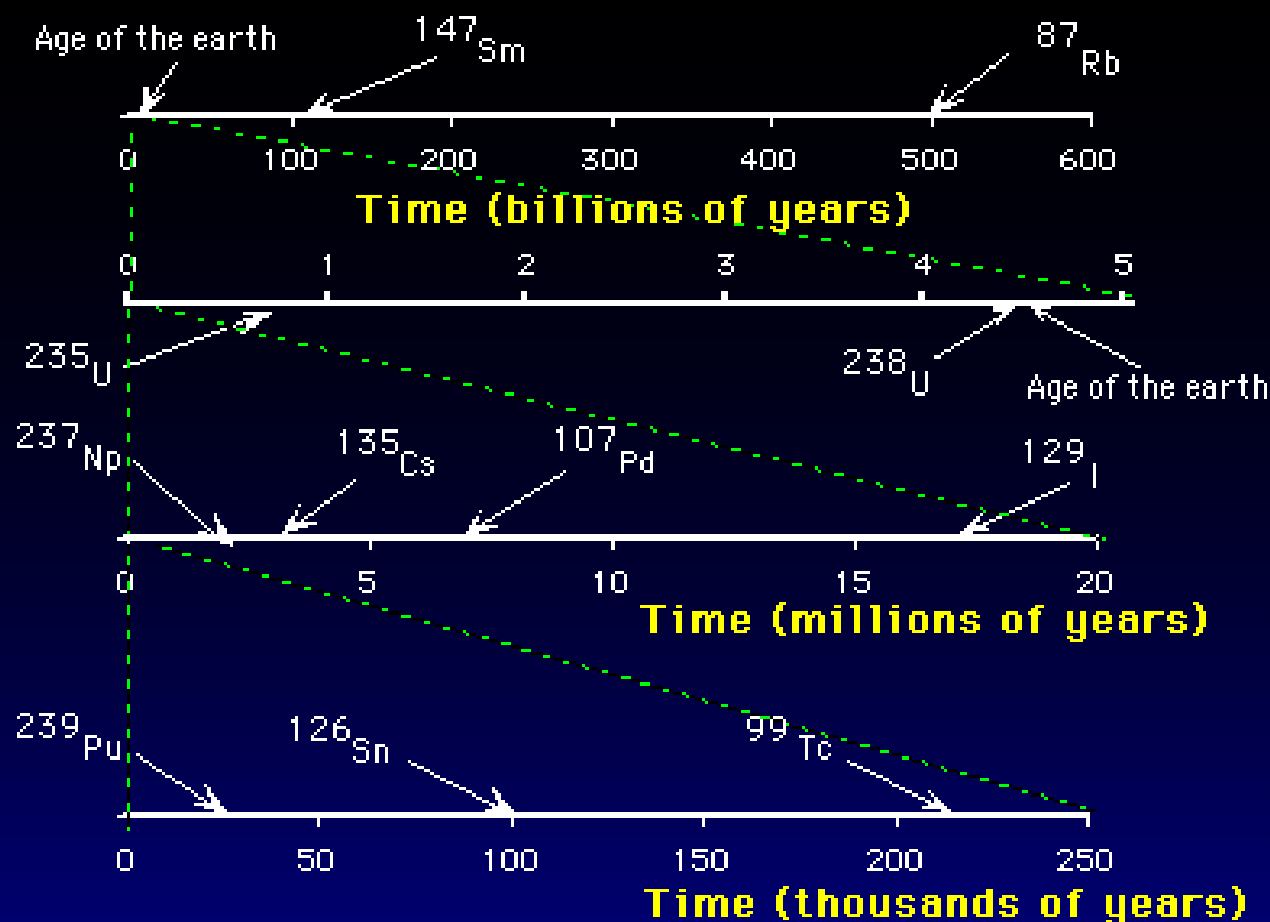
Prof. NCBJ dr inż. A. Strupczewski

Spis treści

- Promieniowanie jest nieodłączną częścią wszechświata
- Źródła i natężenie promieniowania na świecie i w Polsce
- Skutki napromieniowania ludzi, którzy przeżyli wybuchy bomb atomowych
- Hipoteza o liniowej bezprogowej zależności skutków zdrowotnych od dawek
- Zdrowie populacji narażonych na podwyższone dawki promieniowania naturalnego
- Obserwacje ludzi narażonych na podwyższone promieniowanie
- Analizy procesów obronnych w organizmach żywych
- Hormeza i jej skuteczność

Promieniowanie jest z nami od powstania świata

Some Radioactive Half Lives



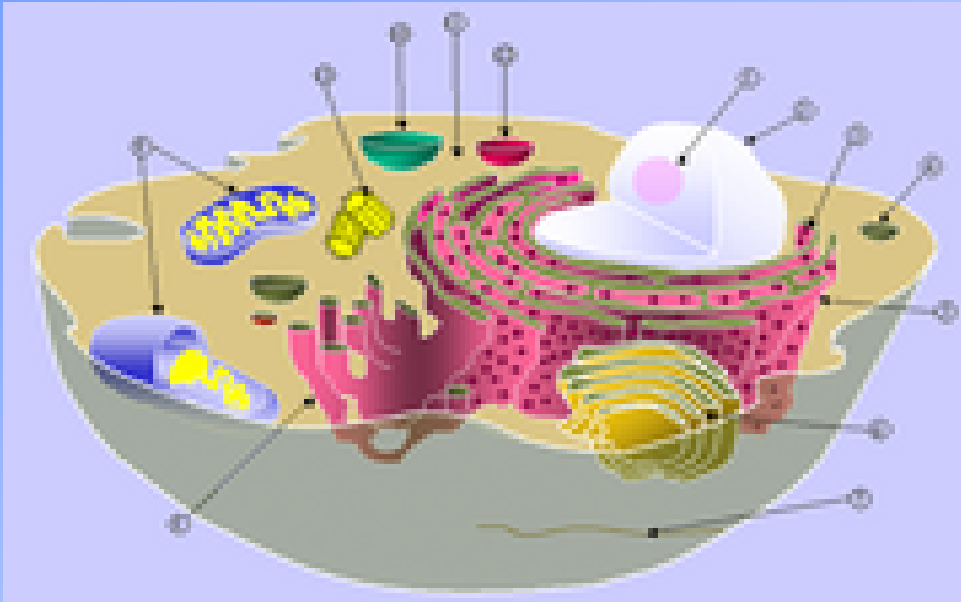
Wiek ziemi – 4,5
mld lat

Okres
połowicznego
rozpadu U-238
4,46 mld lat

U-235 0,7 mld lat

Przed 2 mld lat
zawartość U-235 w
rudzie była
większa niż dziś

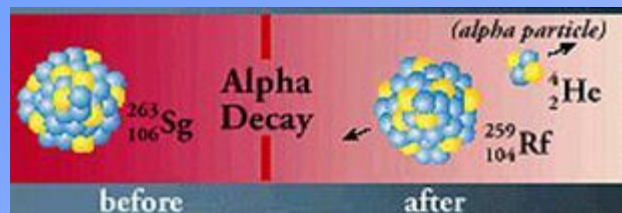
Komórki eukariotyczne już 2 mld lat temu wykształciły oporność na promieniowanie



Typowa komórka zwierzęca

- Komórki eukariotyczne są tysiące razy większe od prokariotycznych i mają organelle i cytoszkielet określające organizację komórki.
- Ich DNA dzieli się na chromozomy.
- Komórki te musiały utworzyć mechanizmy naturalnej obrony przed uszkodzeniami DNA – inaczej musiałyby zginąć.
- Dzisiaj z tych mechanizmów korzystają nasze ciała. I wcale nie boją się tła promieniowania zbliżonego do warunków w jakich kiedyś powstawały.

Rozpad radioaktywny z emisją cząstek alfa, beta i gamma



Rozpad α polega na wysyłaniu przez jądro promieniotwórcze jąder helu. Jądro traci dwa protony oraz dwa neutrony. Jądro powstałe po przemianie ma liczbę masową mniejszą o cztery, a liczbę porządkową mniejszą o dwa w stosunku do jądra macierzystego

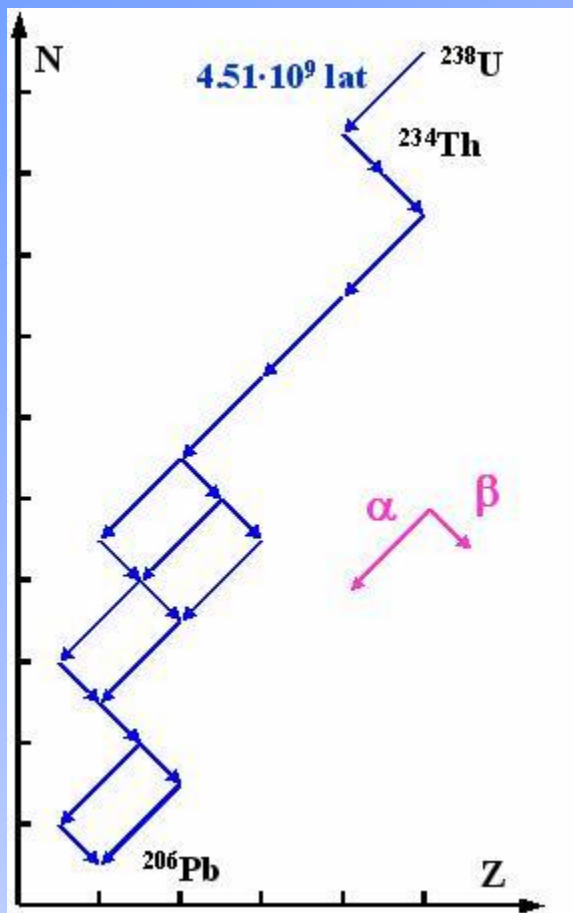


Rozpad β^- Jeżeli jądro zawiera A nukleonów, a liczba neutronów N jest większa od optymalnej, to w jądrze takim zajdzie proces, w wyniku którego jeden z neutronów zamieni się w proton (emisja elektronu)

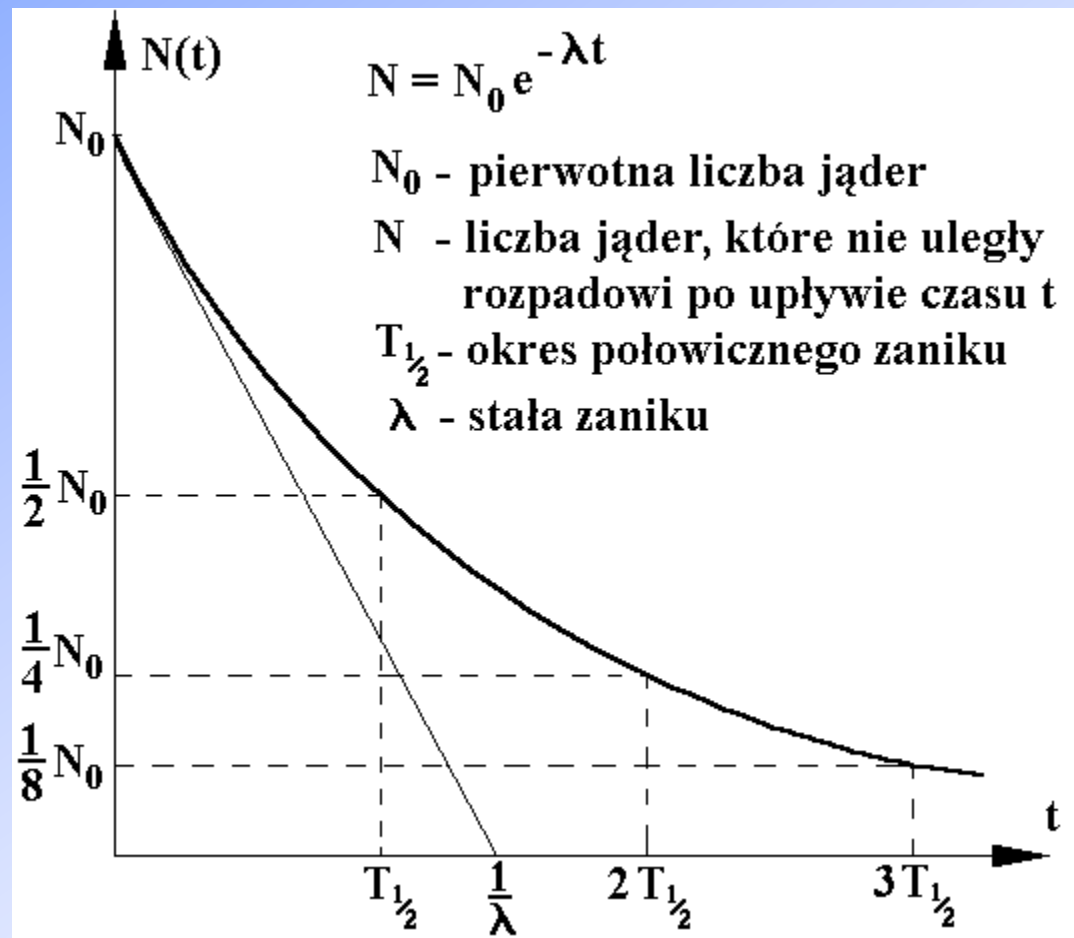


Rozpad β^+ Jeżeli jądro zawiera nadmiar protonów w stosunku do liczby neutronów, to zachodzi proces zwany rozpadem β^+ (Emisja pozytonu) Liczba atomowa pierwiastka macierzystego maleje o jedno, więc powstający pierwiastek jest przesunięty w układzie okresowym o jedno miejsce w lewo.

Rozpad promieniotwórczy – szeregi rozpadu, okres połowicznego zaniku



szereg uranowo-uradowy

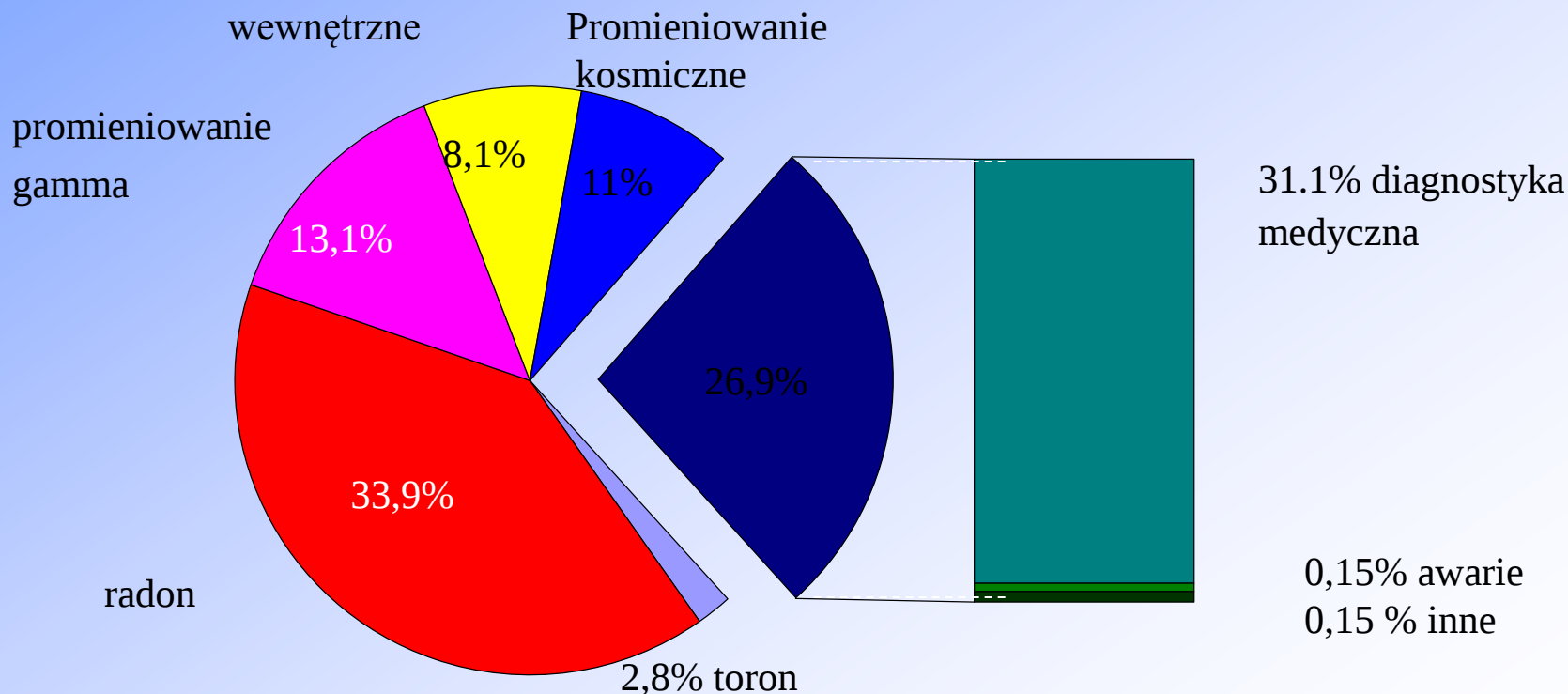


Każdy rozpad oznacza, że natężenie emisji z danego źródła staje się mniejsze.

Roczny Efektywny Równoważnik Dawki Promieniowania Jonizującego (3,55 mSv)

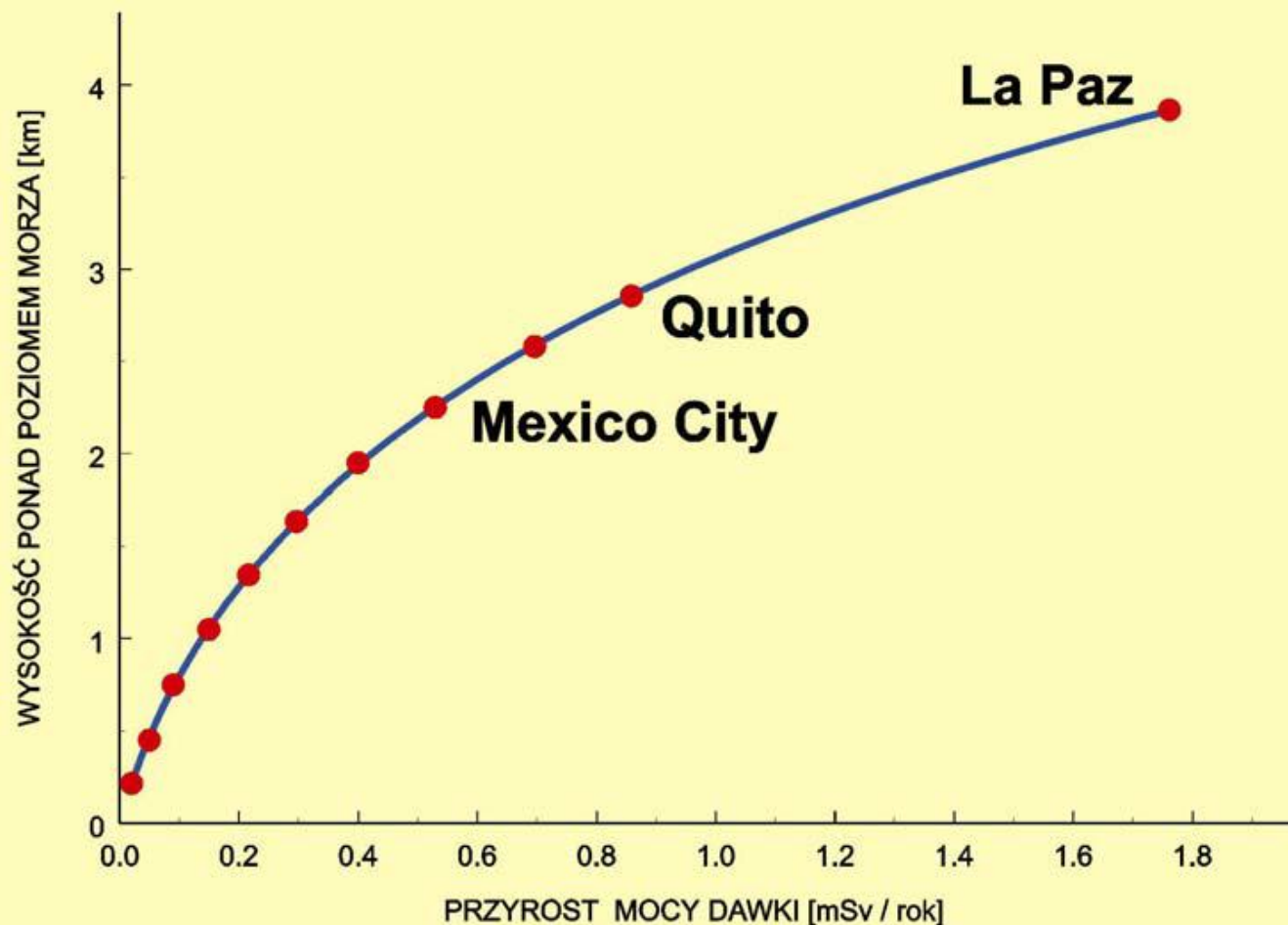
ŹRÓDŁA NATURALNE 68,6%

ŹRÓDŁA SZTUCZNE 31,4%



Wg raportu prezesa PAA za 2016 rok

Moc dawki od promieniowania kosmicznego



Zależność
mocy
dawki od
wysokości
nad
poziomem
morza

Pijąc mleko, wprowadzamy do naszego ciała naturalny promieniotwórczy potas – K-40



Czas połowicznego zaniku K-40 wynosi ponad miliard lat.

K-40 jest wszędzie, na całej kuli ziemskiej, w stałej proporcji do stabilnego potasu.

Wchłonięte z wypitą szklanką mleka atomy tego izotopu będą w nas się rozpadać w tempie 10 na sekundę

Dawki od gamma , Polska

Mieszkaniec Wrocławia przenosząc się na rok do Krakowa dostanie dawkę od promieniowania gamma o 26 nSv/h większą niż we Wrocławiu, to jest w ciągu roku 0,22 mSv/a

Źródło: Raport roczny prezesa PAA za rok 2016, s. 84.

Miejscowość (lokalizacja)	Zakres średniej dziennej mocy dawki [nSv/h]	Średnia roczna [nSv/h]
Białystok	88-110	94
Gdynia	101-115	105
Kielce	79-102	85
Koszalin	82-98	89
Kraków	109-132	114
Łódź	85-106	89
Lublin	68-105	88
Olsztyn	84-100	90
Sanok	101-138	115
Suwałki	79-102	86
Szczecin	95-107	98
Toruń	83-98	88
Warszawa	89-111	93
Wrocław	83-100	88
Zielona Góra	86-100	90

Promieniowanie w bibliotece Kongresu USA

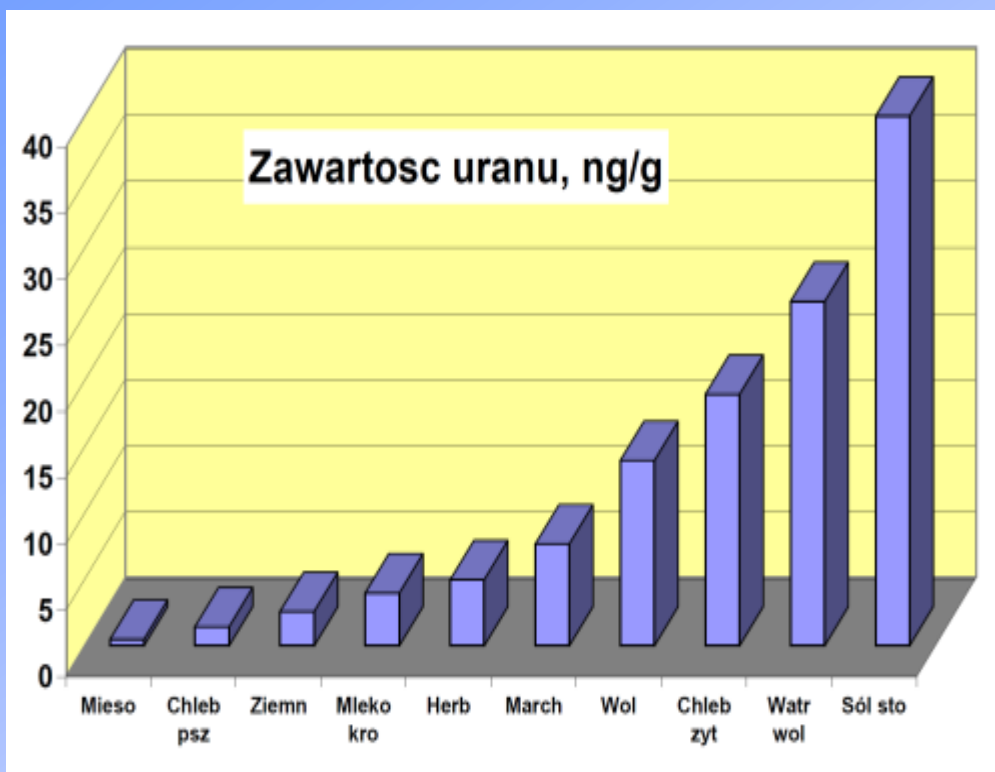


W bibliotece Kongresu USA *promieniowani e gamma emitowane przez granity i marmury jest cztery razy wyższe* niż koło reaktora badawczego MARIA w Świerku

Radioaktywna jest i żywność – i woda, nawet ze źródeł w Alpach

- Największe moce dawki powodowane są przez... banany, zawierające radioaktywny potas K-40. Średnie źródło promieniowania z banana o wadze 150 g to 0,52 mikrocurie. Przy spożyciu jednego banana dziennie otrzymuje się rocznie dawkę równą 36 mikroSv *CRC Handbook on Radiation Measurement and Protection*, Vol. 1 p. 620 Table A.3.7.12, CRC Press, 1978.
- Nie tylko żywność, lecz także woda jest radioaktywna. W samym sercu Europy woda spływająca po wiosennych roztopach śniegu na Mont Blanc zawiera około 10 000 Bq/m³ Pb210 i tyleż Po210, będące pochodnymi radonu wydzielanego z gleby. Przeliczenie wynikających stąd dawek wykazuje, że są one dużo większe od dozwolonych dla elektrowni jądrowych (Wg dozoru jądrowego od 0,3 aż do 0,03 mSv/rok).
- *Radioactivité: le Mont Blanc est Plombé*, Nelly Torrent, Le Point, n°1438, 7 avril 2000.

Dlaczego nie mamy zmysłu wykrywającego promieniowanie?



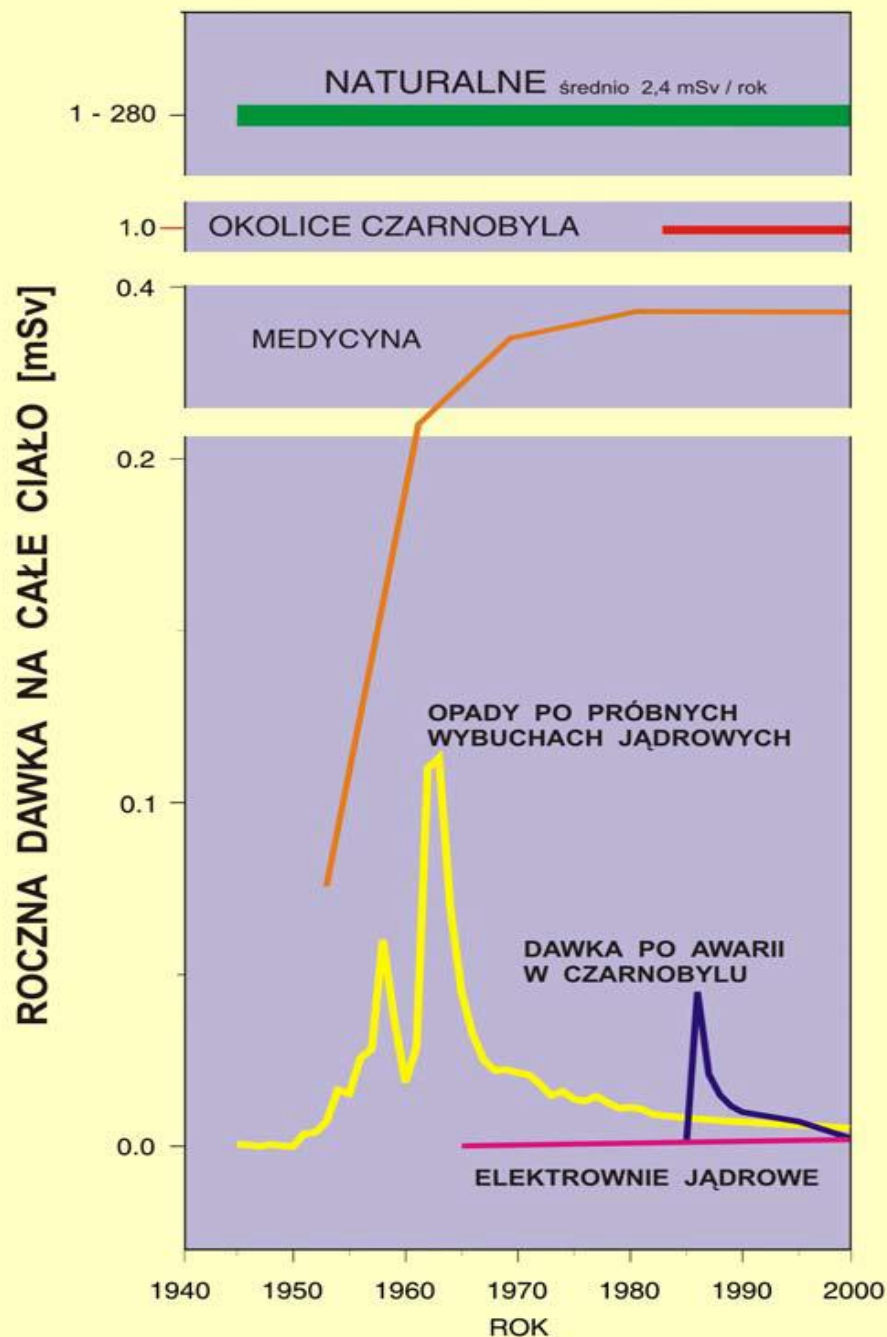
Zawartość uranu w produktach spożywczych (naturalna, niespowodowana żadnymi awariami). Dane z książki Leikina-McFee

W typowym ogródku brytyjskim o wymiarach 20 m x 20 m na głębokości 1 m znajduje się średnio 2 kg uranu, 6 kg toru i 0,8 kg potasu K-40. I nikt się tym nie przejmuje!

Bo promieniowanie nie jest ważne dla zdrowia, po prostu – nie jest ważne...”.

The Lord Marshall of Goring, *Your Radioactive Garden – Nuclear Waste in Perspective*, Central Electricity Generating Board-lecture, 1990.

Skąd pochodzą dawki promieniowania?

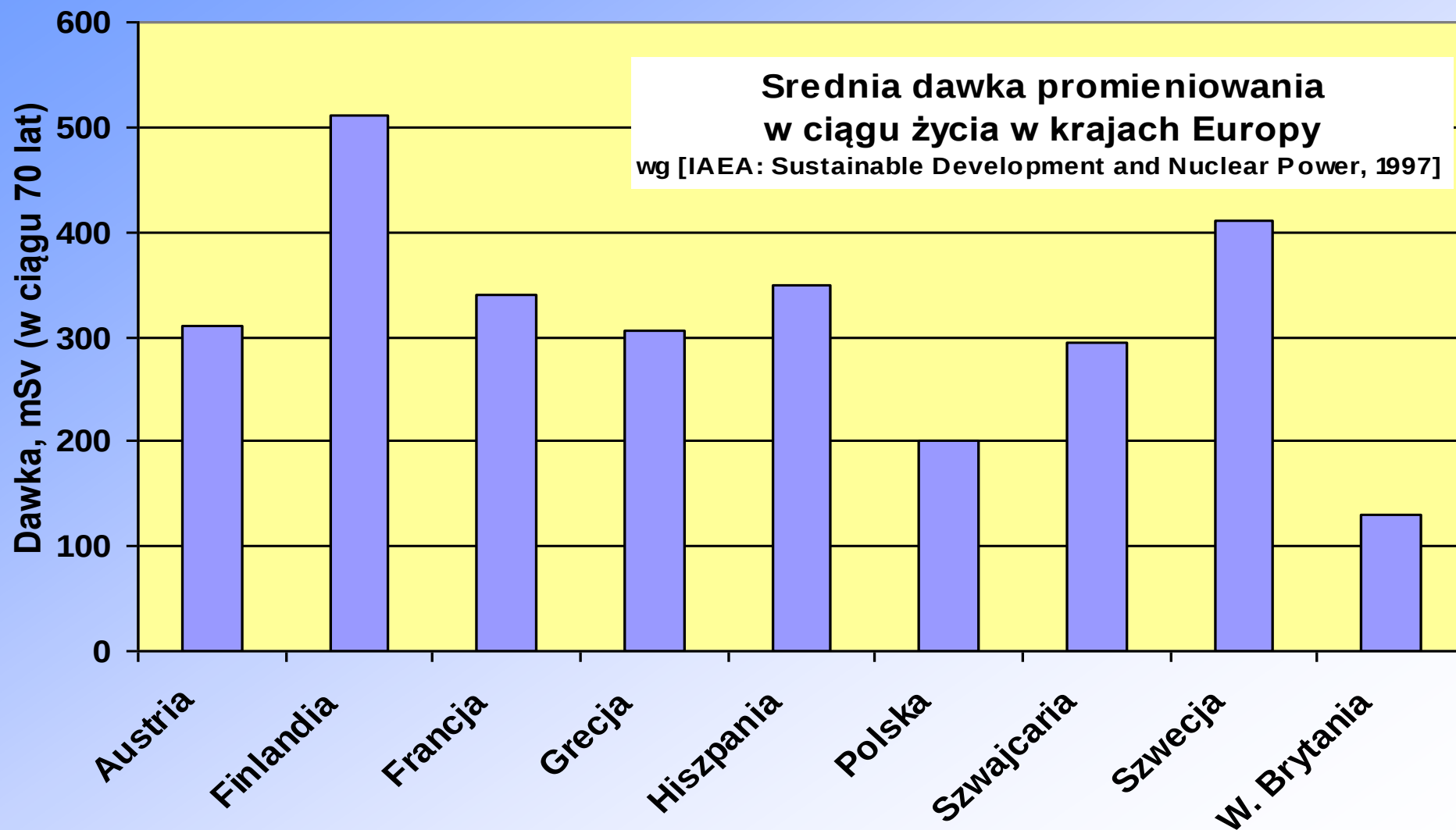


Roczne dawki otrzymywane na Ziemi ze źródeł naturalnych wynoszą od 1 do 280 mSv/rok.

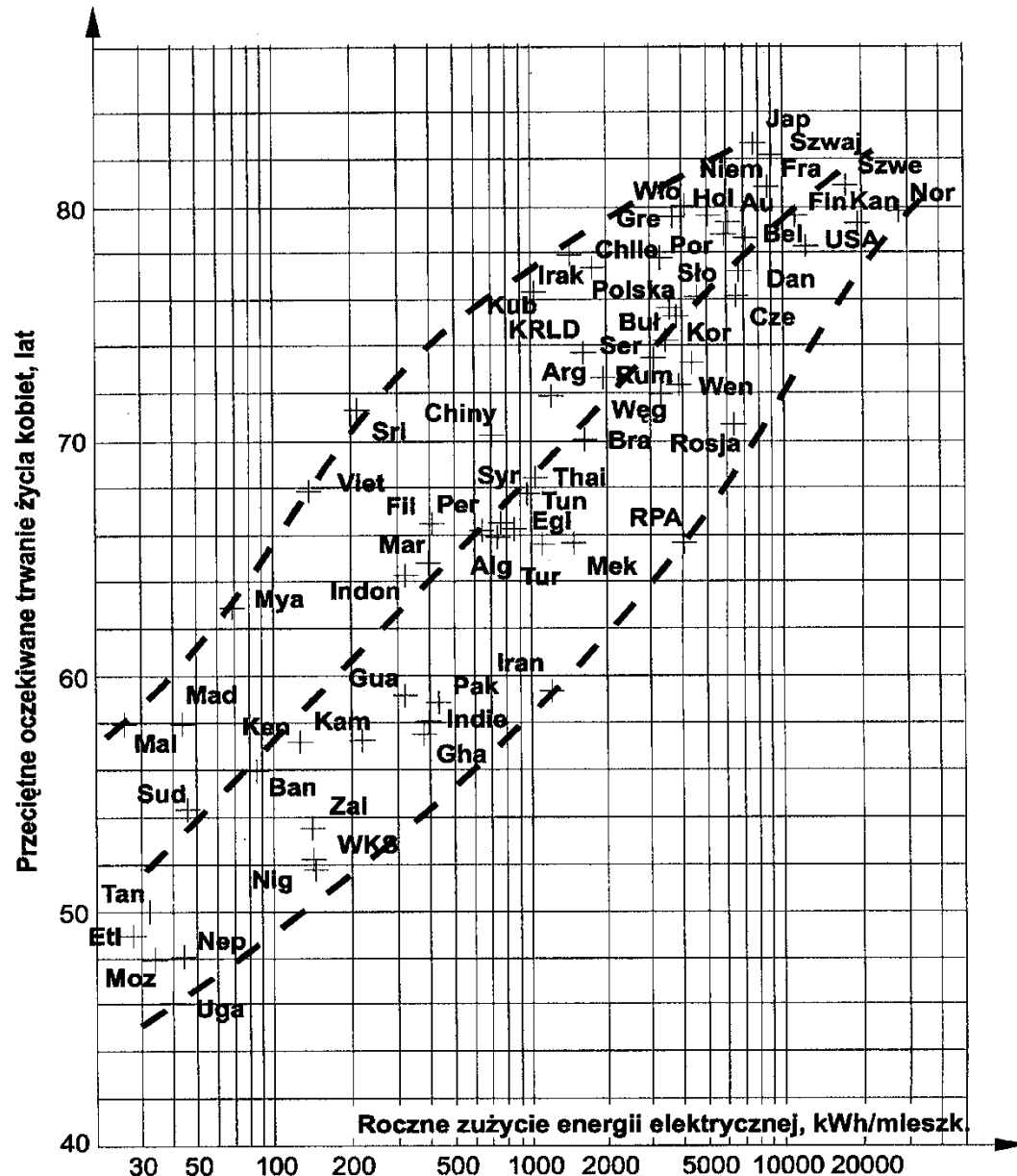
Obszary o znacznie podwyższonym promieniowaniu to rejon Ramsar w Iranie, Guarapari w Brazylii, Yangjiang w Chinach, masyw centralny we Indiach, we Francji, Szwecji, Finlandii

Długość życia i zdrowie są tam wyższe niż przeciętna w rejonach o średnim promieniowaniu.

Promieniowanie – to nieodłączny element naszego środowiska



Średnia oczekiwana długość życia kobiet



w różnych krajach w
funkcji zużycia energii
elektrycznej,
kWh/rok na
mieszkańca.

Podwojenie zużycia
energii elektrycznej
odpowiada średnio
przedłużeniu życia o
około 3 lata.

**NIE zależy od mocy
dawki!**

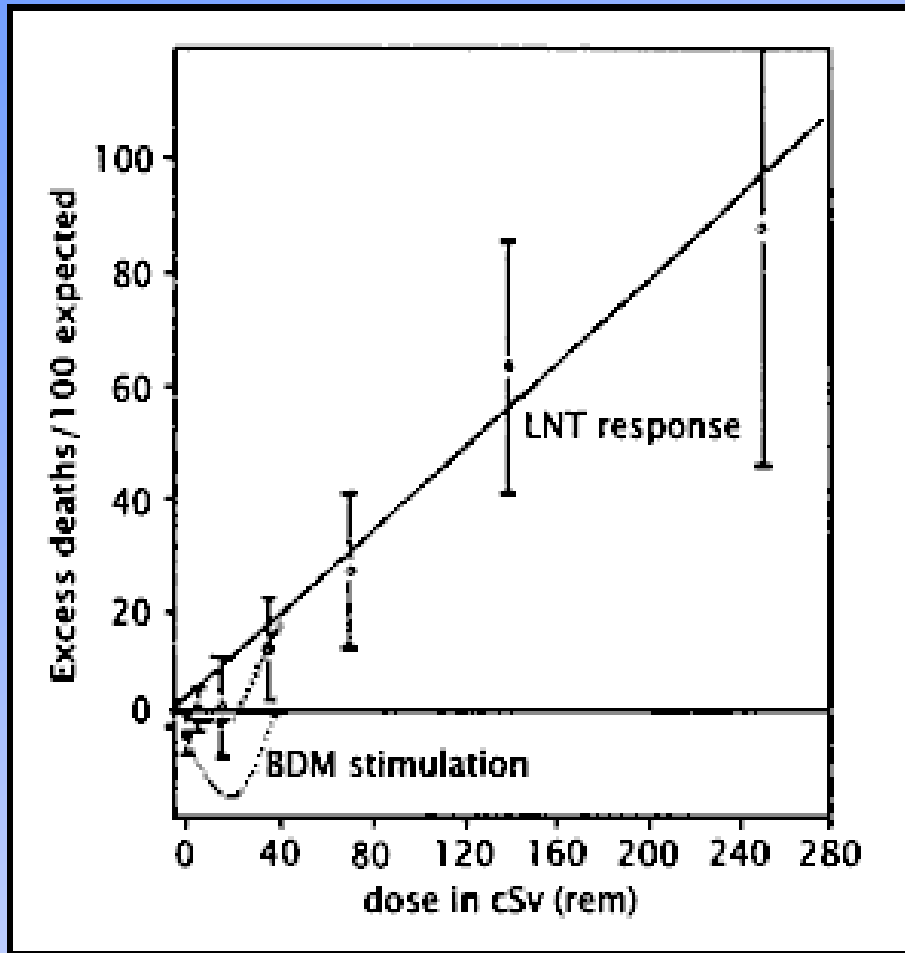
Hipoteza LNT

- LNT: *Linear Non-Threshold* – hipoteza liniowa, bezprogowa
- Szkodliwość promieniowania jonizującego rośnie liniowo z dawką promieniowania w całym zakresie dawek
- Hipoteza ta jest podstawowym źródłem zaleceń ochrony radiologicznej, rekomendowanych przez ICRP (*International Commission of Radiation Protection*)
- W rzeczywistości zaobserwowano szkodliwe efekty tylko dla dużych dawek – a dla małych nie było efektów, zastosowano więc interpolację.
- WG LNT – interpolacja powinna być liniowa, wg teorii hormezy - małe dawki mogą być dobroczynne.

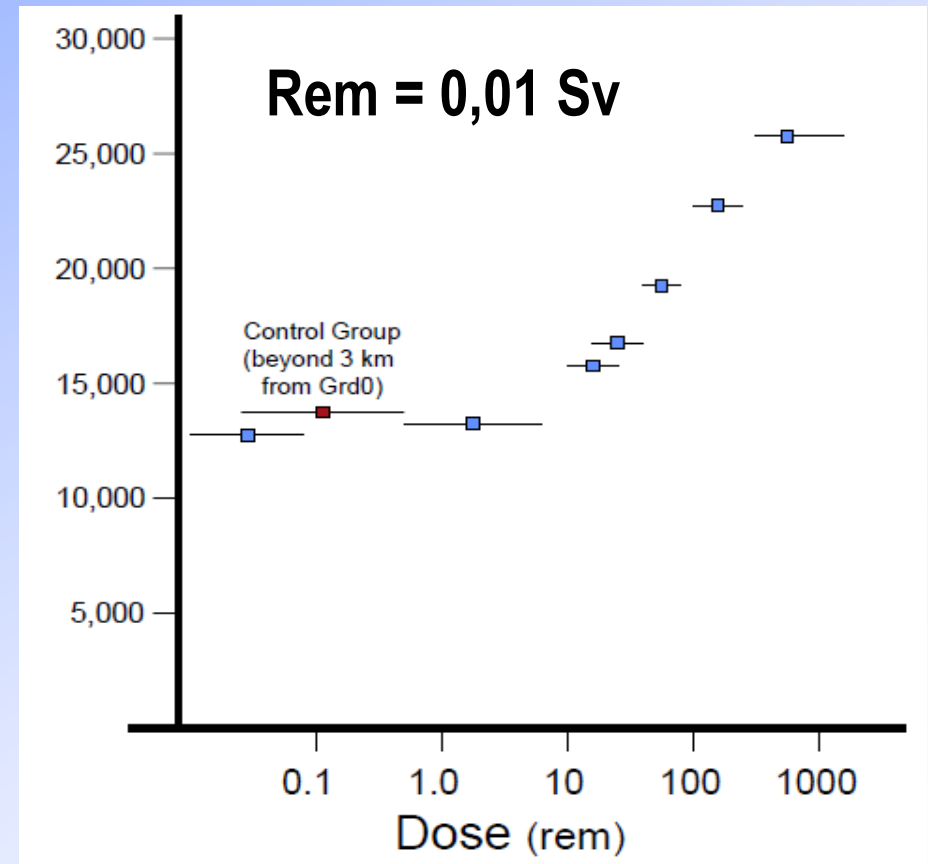
Powody przyjęcia LNT

- Hipotezę LNT postawiono w czasie zimnej wojny.
- Miała ona zahamować próby z bronią jądrową w atmosferze.
- I rzeczywiście, nacisk opinii społecznej był duży , obliczone miliony dodatkowych zgonów przerażały i próby przerywano.
- Autor tej hipotezy wiedział, że jest ona sprzeczna z faktami i znanymi mu wówczas wynikami badań. LNT była prawdziwa dla dużych dawek, ale nie dla małych.
- Niestety, po przerywaniu prób jądrowych strach przed promieniowaniem w społeczeństwach pozostał, a przeciwnicy energii jądrowej podsycają go cały czas.
- Rzeczywistość jest sprzeczna z LNT

Hipoteza LNT: uproszczenie sprzeczne z wiedzą biologiczną, pomija BDM

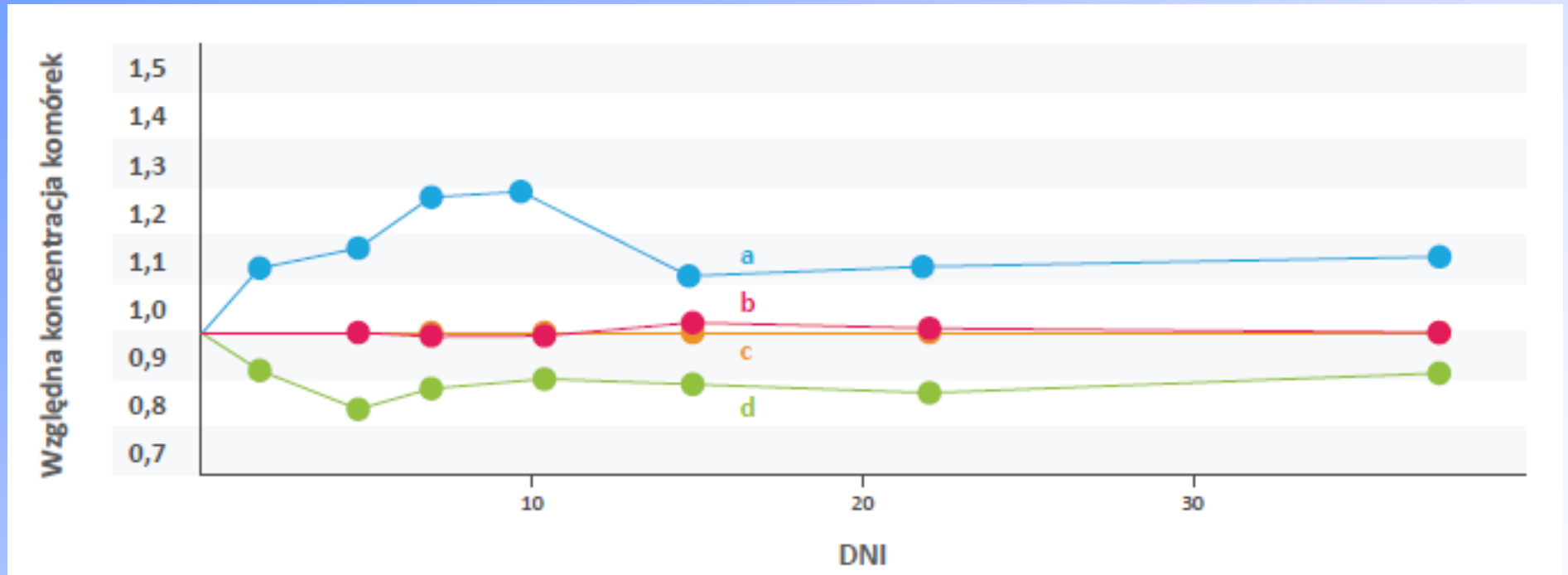


BDM – Body defense mechanism



Przypadki raka łatego na 100 000 osób w kohorcie A BS, wg ICRP 1994

Bez promieniowania życie zamiera!



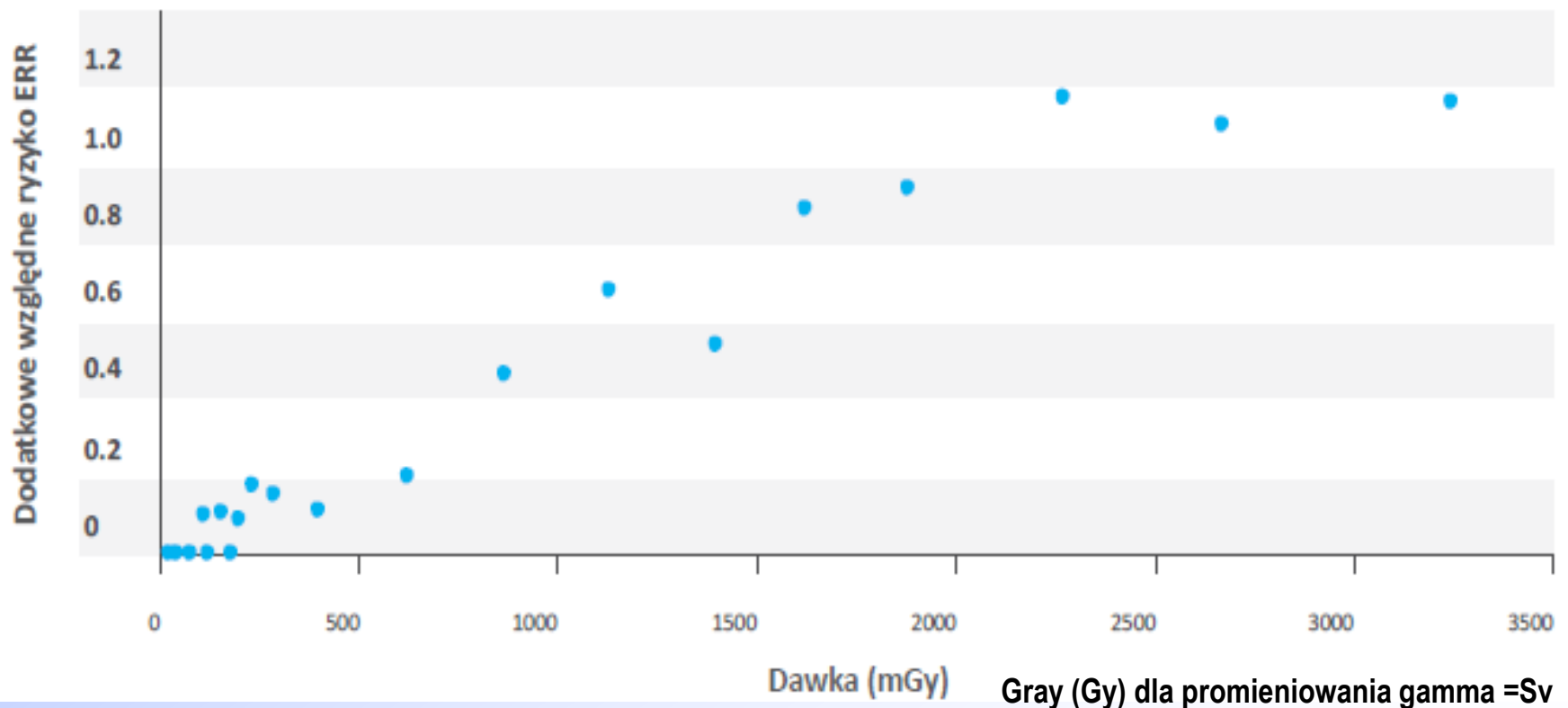
Wpływ odcięcia promieniowania na względną koncentrację komórek *Synechococcus lividus* w doświadczeniach prof. Planela

a. Napromieniowane, b. Za osłoną Pb ale napromieniowywane, c, Kontrolne, przy normalnym promieniowaniu, d. Za osłoną odcinającą promieniowanie – mikroorganizmy giną,

Dane z Hiroshimy i Nagasaki – wykres liniowy zaciemnia skutki małych dawek

Dane ze studium długości życia mieszkańców Hiroshimy i Nagasaki, którzy przeżyli wybuchy bomb atomowych

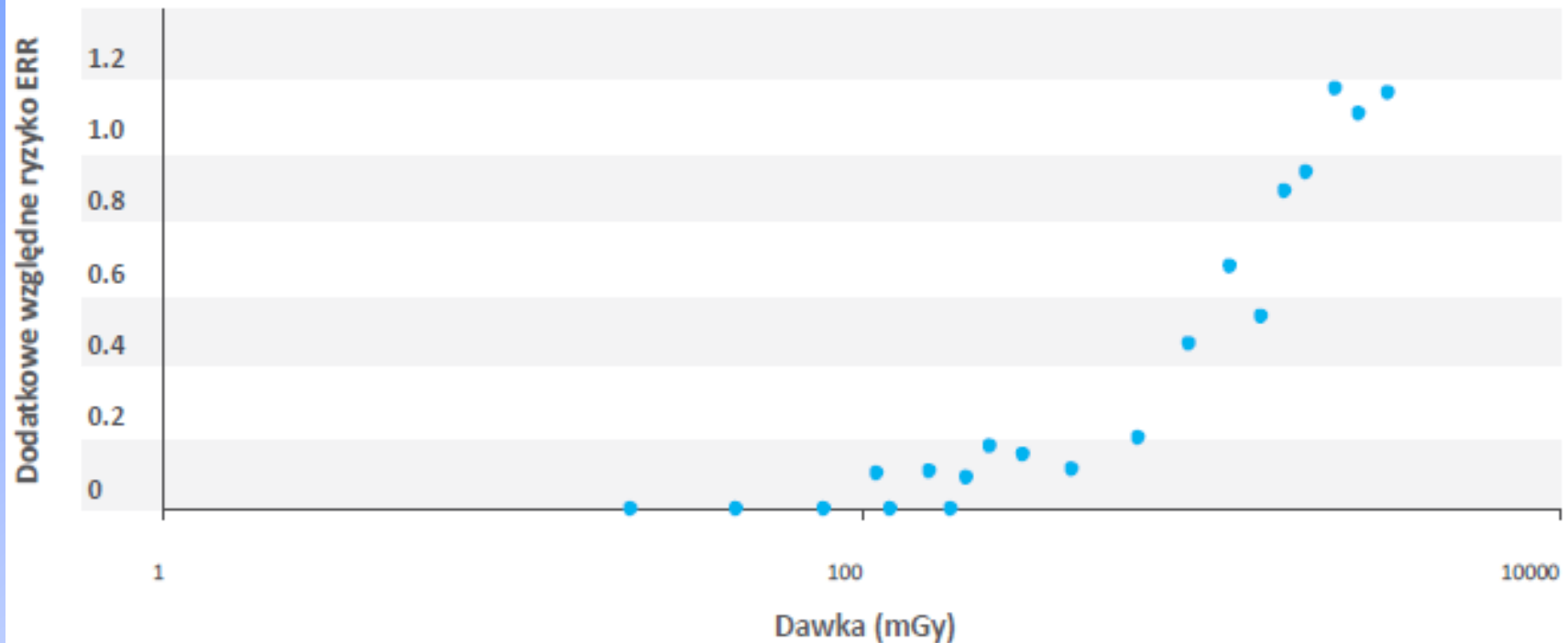
Dodatkowe ryzyko zachorowalności na raka w funkcji dawki promieniowania, w latach 1858–1998



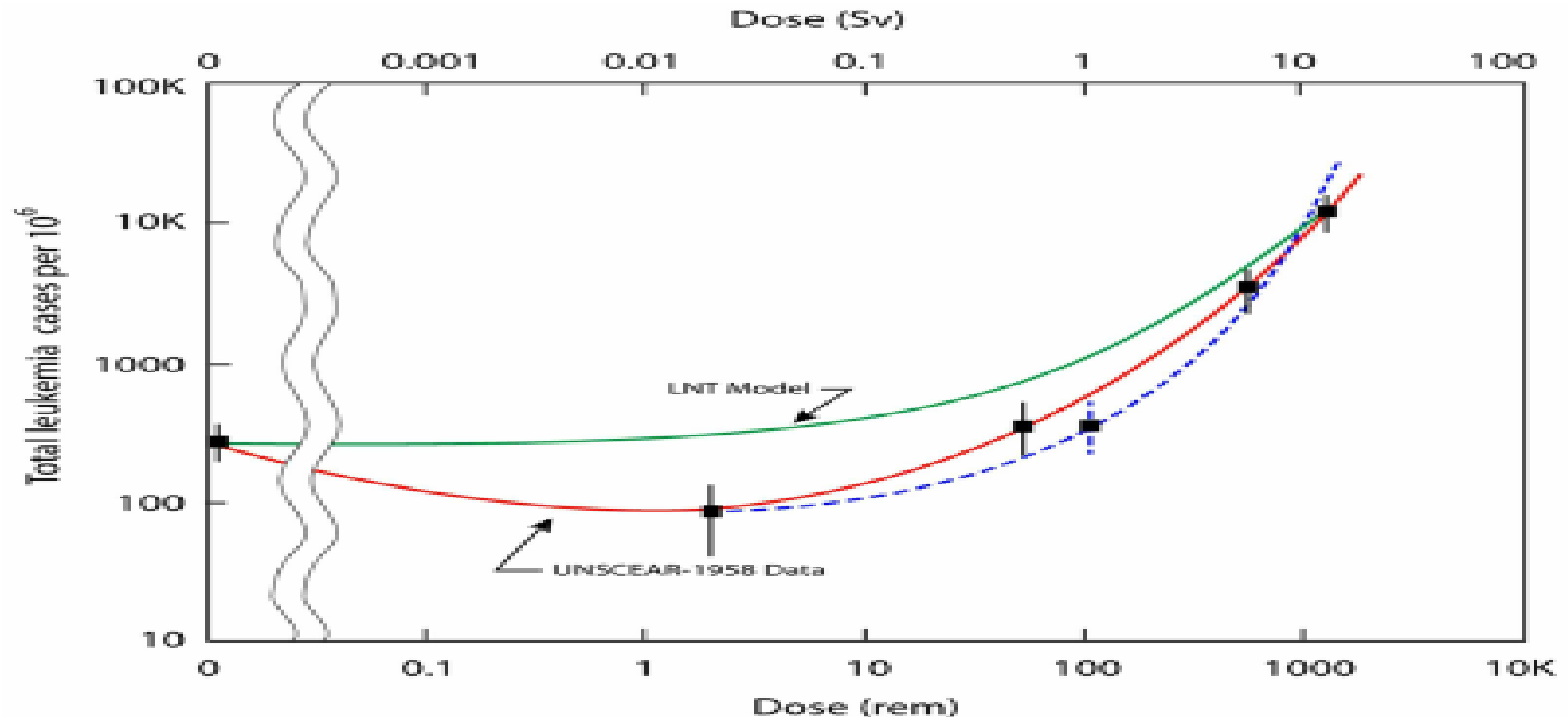
Dane z Hiroshimy i Nagasaki – wykres w skali logarytmicznie - liniowej

Dane ze studium długości życia mieszkańców Hiroshimy i Nagasaki, którzy przeżyli wybuchy bomb atomowych

Dodatkowe ryzyko zachorowalności na raka w funkcji dawki promieniowania, w latach 1858–1998



Częstość zachorowań na białaczkę w kohorcie ABS

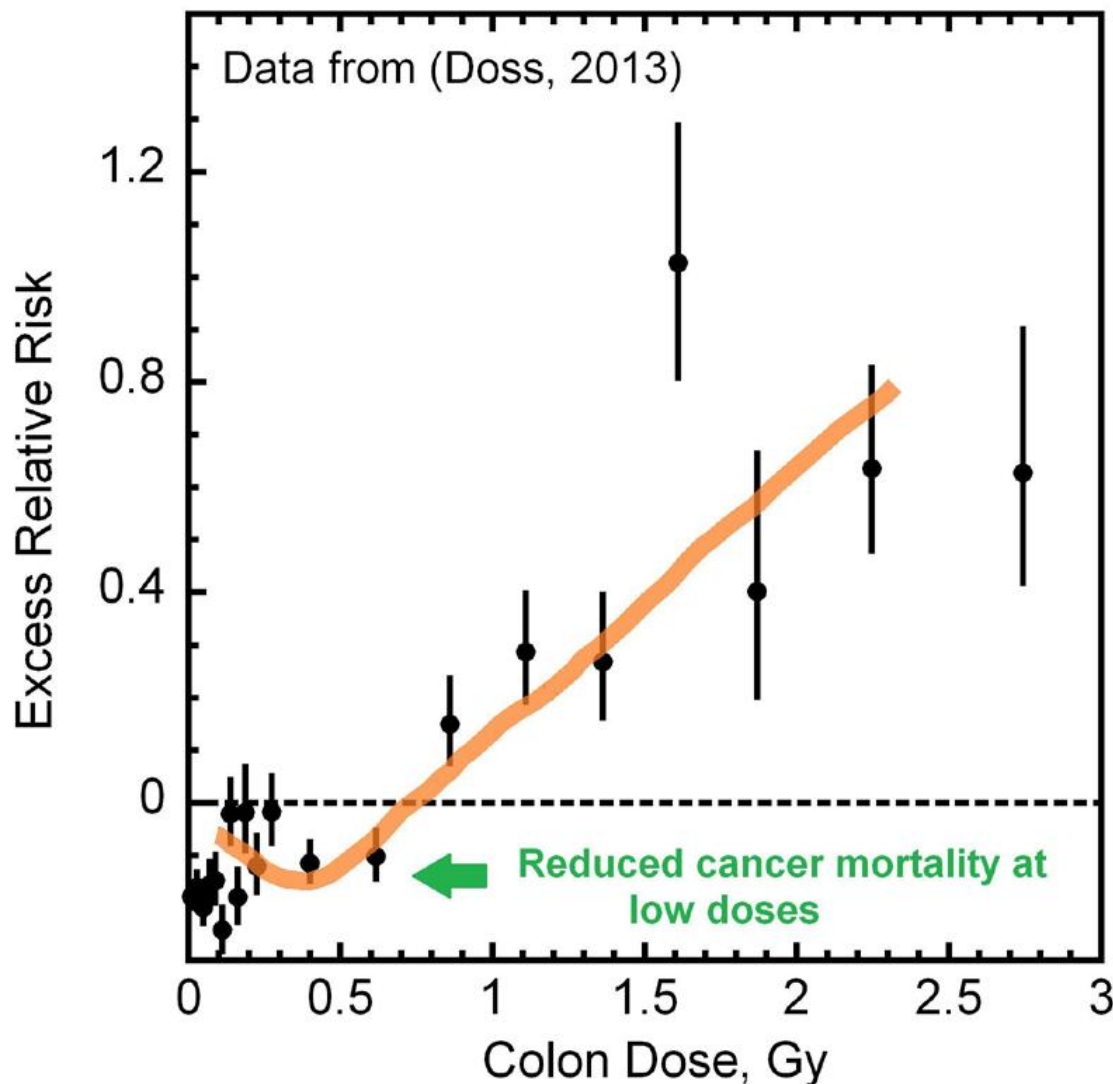


Leukemia incidence in the Hiroshima survivors for 1950–57.

- ABS –Atomic Bomb Survivors

Obniżenie umieralności w zakresie niskich dawek

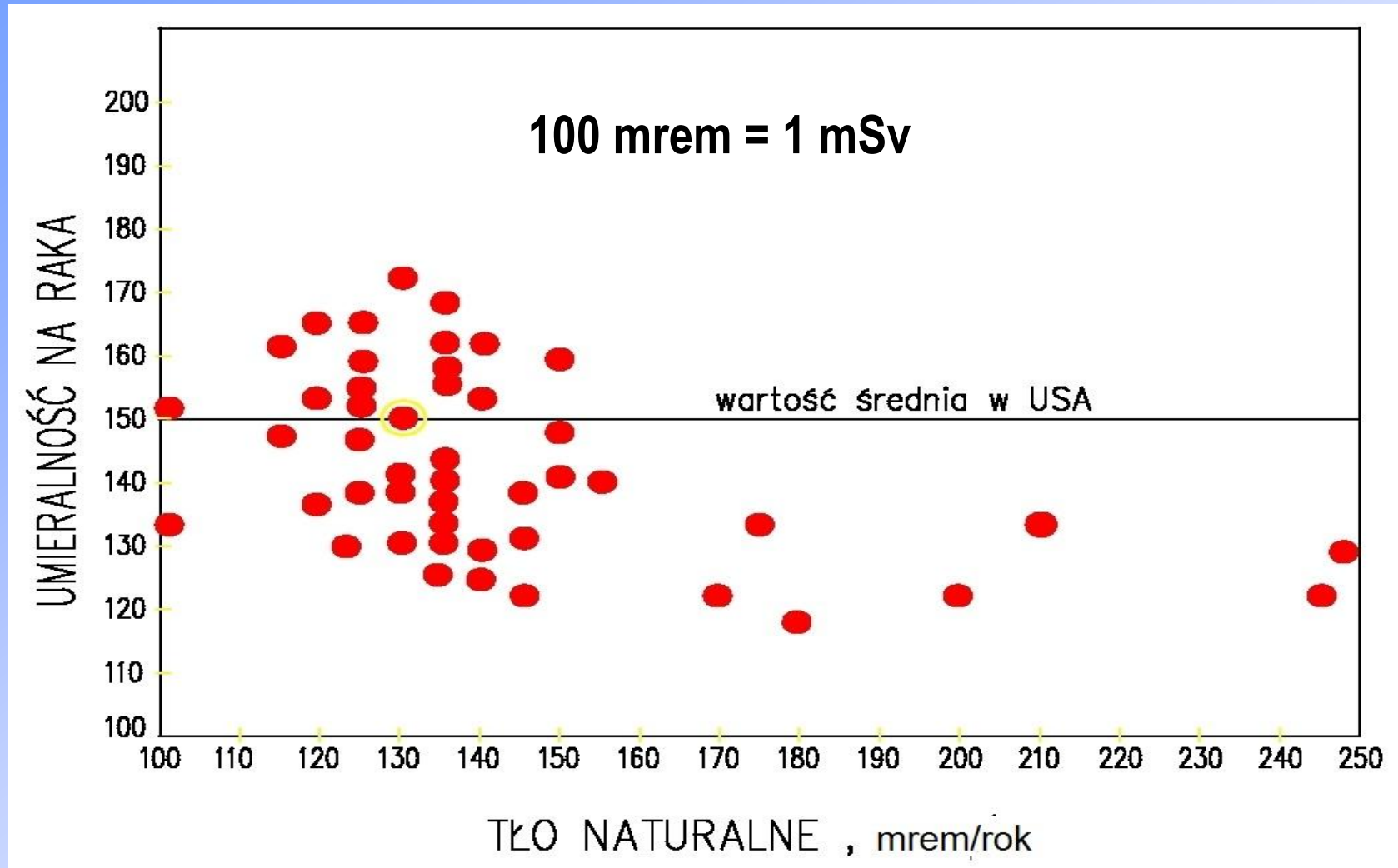
Atomic Bomb Survivor Solid Cancer Mortality (Ozasa, 2012)
Corrected for -20% assumed bias in baseline cancer mortality rate



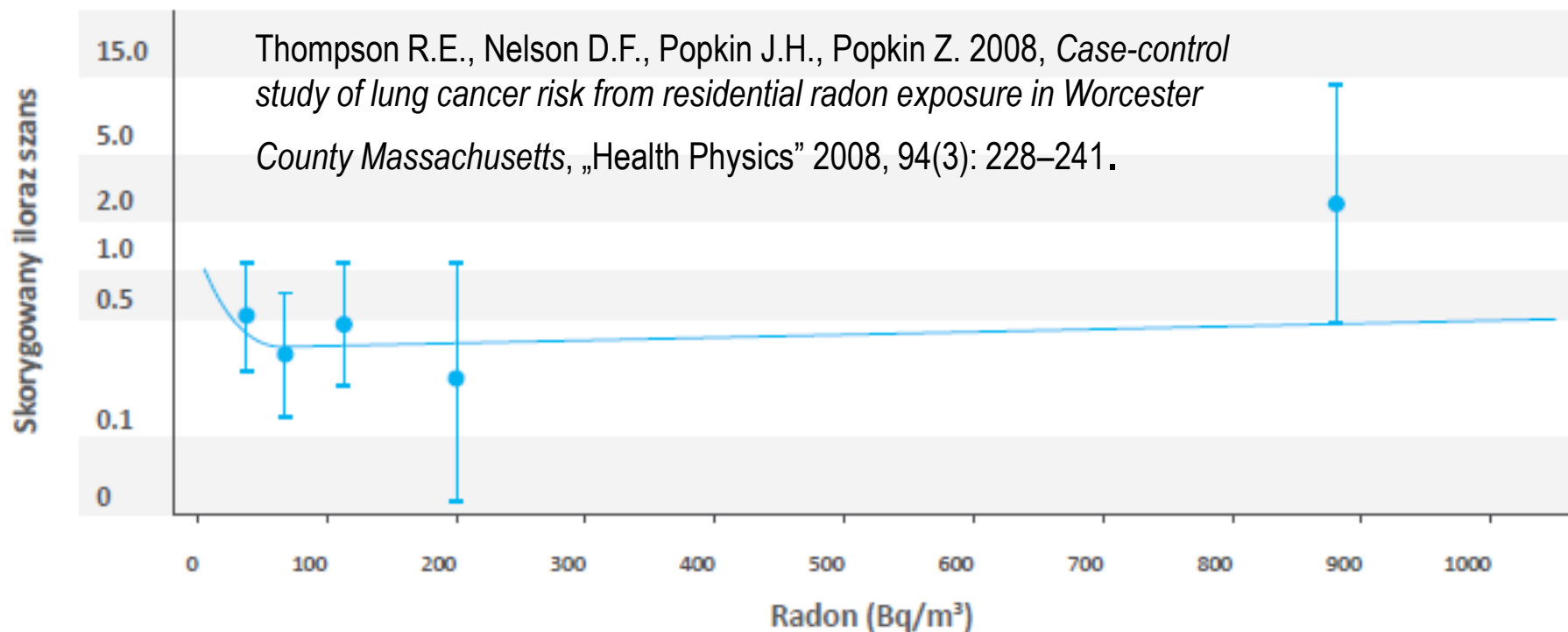
Nadmiarowe ryzyko względne (ERR) umieralności na nowotworowe guzy łe w populacji ABS, w funkcji dawki na jelito grube - dane według pracy Ozasa i in. (2012), skorygowane poprzez podwyższenie o 20% poziomu odniesienia ERR. Dane wg Doss (2012). – obniżenie umieralności w zakresie niskich dawek

Umieralność na raka niższa dla stanów USA o wysokim tle promieniowania.

Linia pozioma pokazuje umieralność dla USA jako całości



Studium ryzyka raka płuc w Worcester z powodu narażenia na radon i izotopy pochodne



200 przypadków i 397 kontroli dobranych pod kątem wieku i płci, objętych leczeniem przez tę samą organizację zdrowia. Czynniki kontrolowane: czas zamieszkania, palenie papierosów, wykształcenie, dochody i czas narażenia w pracy na znane lub potencjalne substancje kancerogenne.

Wysokie moce dawki są też we Francji, Finlandii, USA...

Np. w USA średnio **0,4 miliSv/rok**, ale na Kapitolu i w Bibliotece Kongresu moc dawki od ścian wynosi $0.3 \text{ mSv/h} = \mathbf{2.6 \text{ miliSv/rok}}$

Dla porównania – średnia moc dawki od wszystkich EJ na świecie **0,2 mikroSv/rok** – **13 000 razy mniej!**

A moc dawki od składowiska wysokoaktywnych odpadów Yucca Mountain - do **0,15 miliSv/rok**.

Wysokie moce dawki są też na dworcu autobusowym Central Station w New Yorku – ale nikt nie proponuje ewakuacji Kapitolu ani dworca!

W rejonach o podwyższonym tle promieniowania mniej ludzi umiera na raka

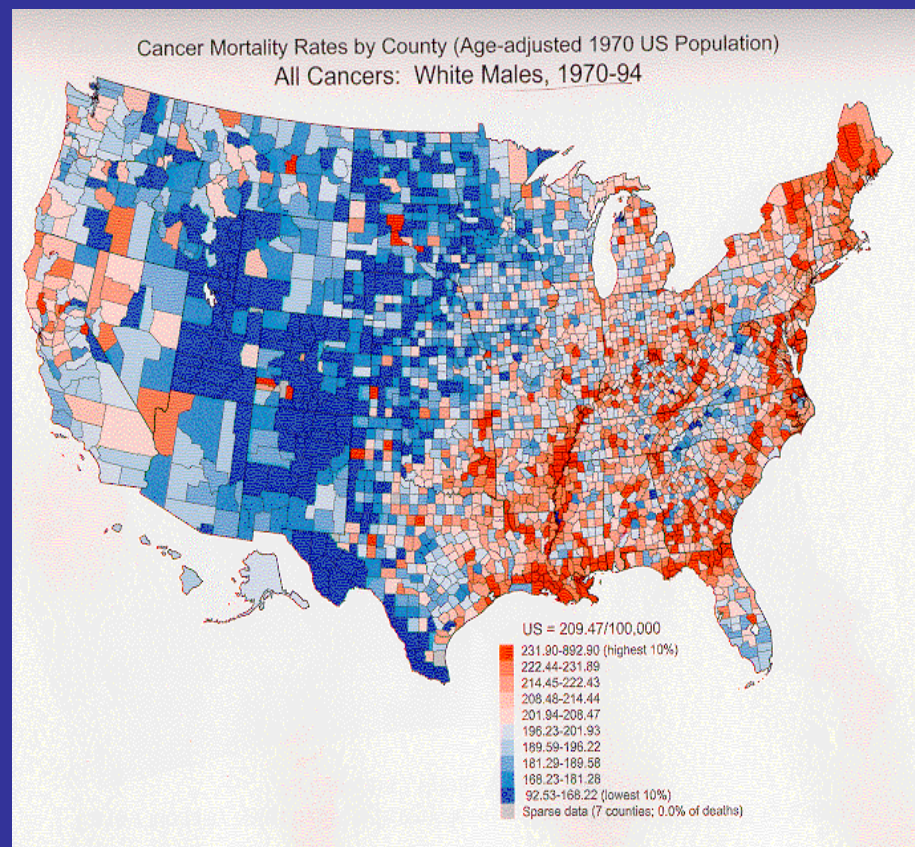
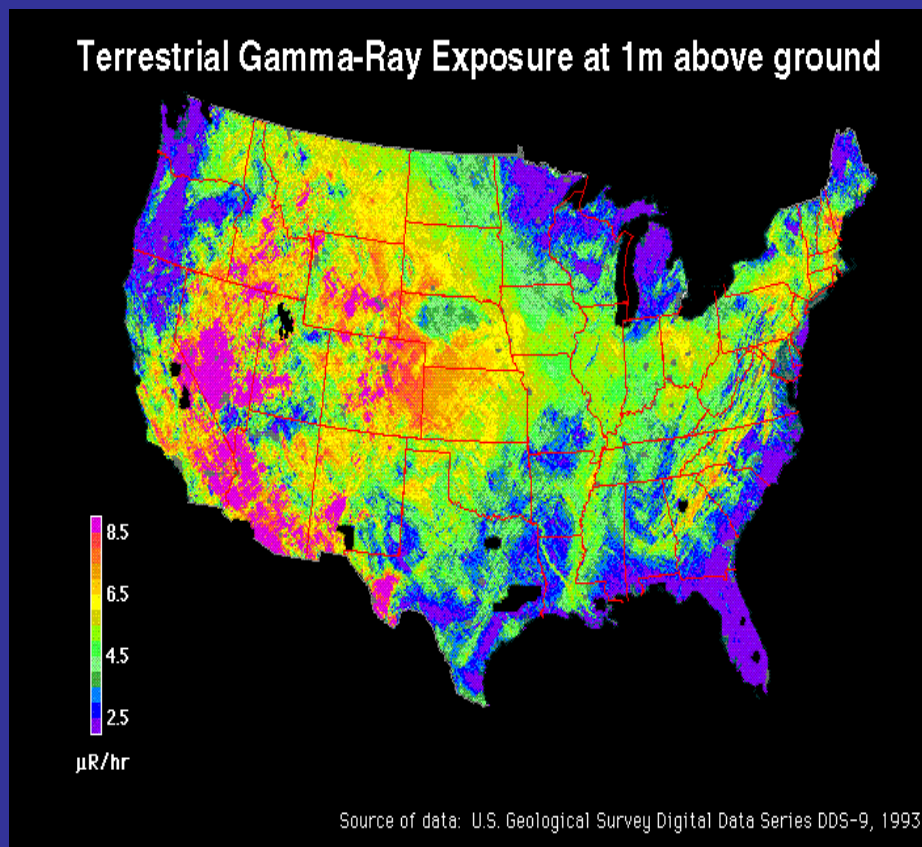
Badano mieszkańców uzdrowisk ze źródłami radonowymi jak Misasa w Japonii, prowincji Yangjiang w Chinach (max. 6,4 mGy/rok), rejonu Kerali w Indiach (max 35 mGy/rok),

Ramsar w Iranie, gdzie średnia mocy dawki wynosi 10,2 mGy/rok, a max. dawki sięgają 260 mGy/rok.

W żadnym z tych rejonów nie wykryto zwiększonej umieralności na raka

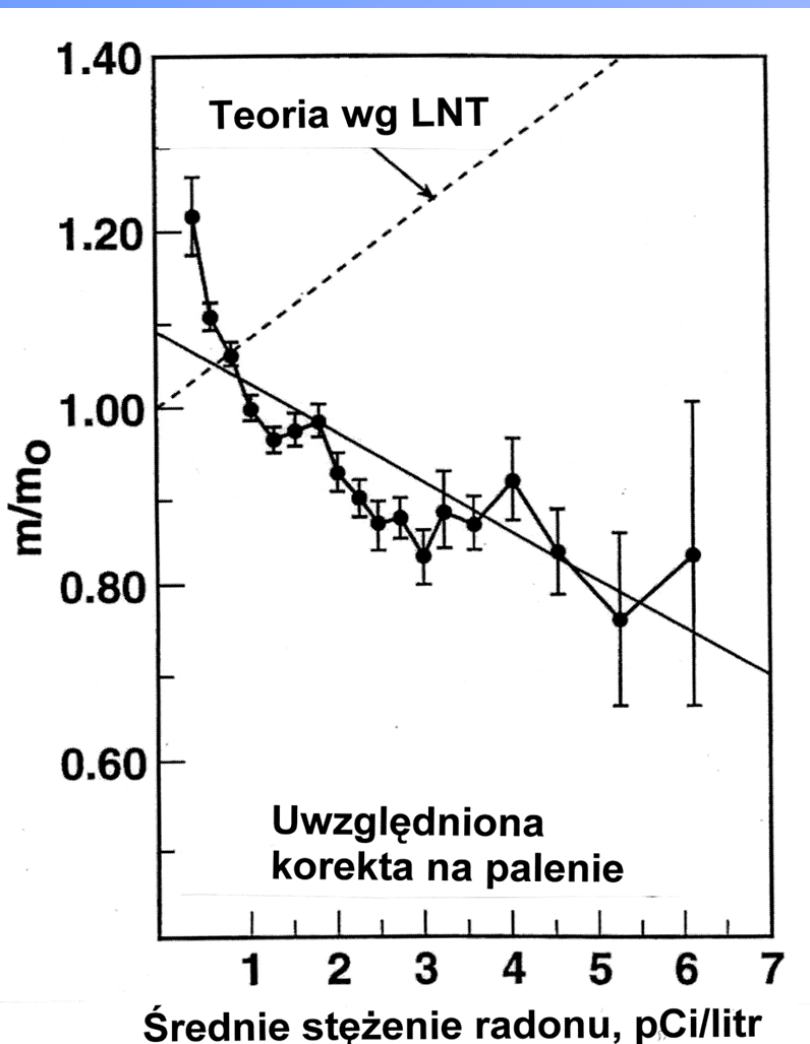
Badania w USA - wszystkie wyniki wskazują, że wysokiemu tłu promieniowania towarzyszy niska umieralność na raka.

Rzeczywiste częstości zachorowania na raka płuc w 6 stanach USA o najwyższym tle promieniowania wynoszą średnio 44/rok na 100 000 mieszkańców, a w stanach o najniższym 73/rok na 100 000 mieszkańców



**Tam gdzie promieniowanie gamma jest wysokie – (rys. z lewej)
zapadalność na raka jest mała (rys. z prawej) [Duport 02]**

Badania Cohena nie potwierdzają szkodliwości radonu



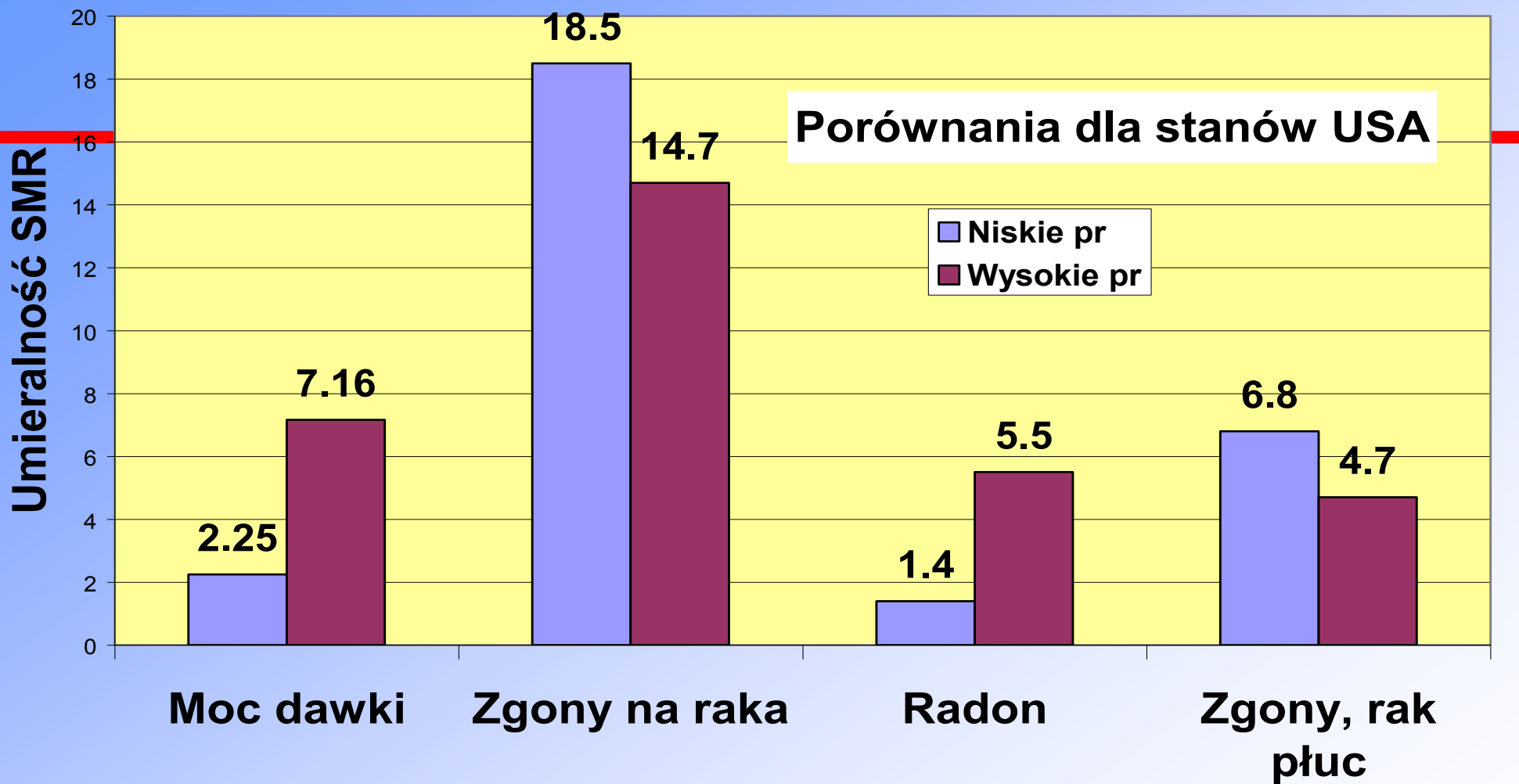
Dane z 272 000 domów w 1729 hrabstwach USA

Badania objęły 90% hrabstw w USA.

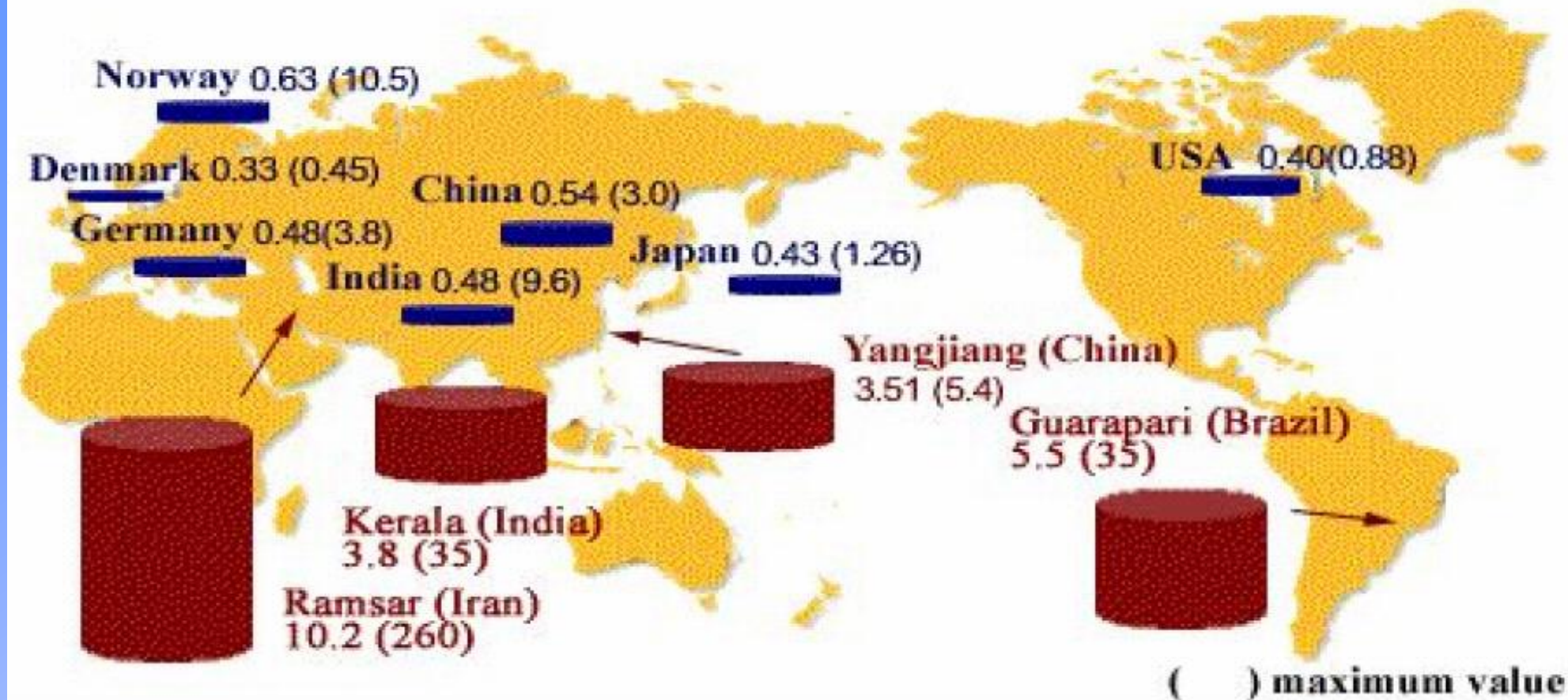
Umieralność na raka płuc w funkcji średniego stężenia radonu w domach w okręgach administracyjnych USA, porównana z umieralnością obliczoną wg modelu liniowego LNT zamieszczonego w raporcie BEIR IV.

m/mo stosunek umieralności obliczonej wg hipotezy LNT do umieralności przy stężeniu 0 lub zarejestrowanej w badaniach przy mierzonych stężeniach radonu w domach do umieralności przy średnim stężeniu radonu w domach w USA, 1.7 pCi/litr [Cohen 1995a]

Umieralność maleje! A nie rośnie !



Wielkość dawek promieniowania i umieralność na raka w stanach USA o najwyższym i najniższym poziomie tła promieniowania naturalnego [Jagger 98]



Średnie roczne dawki promieniowania w rejonach świata, mGy/rok

Kraj	Rejon	Populacja	Moc dawki pochłoniętej w powietrzu (nGy h ⁻¹)
Brazylia	Guarapari	73 000	90-170 (street)
Iran	Ramsar	2 000	90-90 000 (beaches) 70-17 000
Indie	Kerala	100 000	200-4 000
Chiny	Yangjiang	80 000	370 (średnio)

Wysokie promieniowanie (Chiny) – niska umieralność na raka

Średnie dawki roczne w terenie o podwyższonym promieniowaniu (HBRA) 6,4 mSv, a w terenie kontrolnym (CA) 2.4 mSv, populacja 100 000 osób, badania obejmują ponad 30 lat.

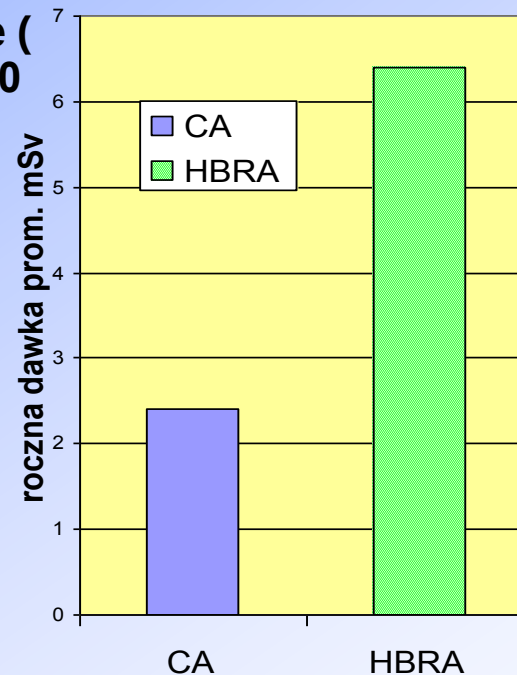
Umieralność na choroby nowotworowe (poza białaczką) wśród osób od 40 do 70 lat :

- w CA 168/100 000
- w HBRA 143.8 /100 000

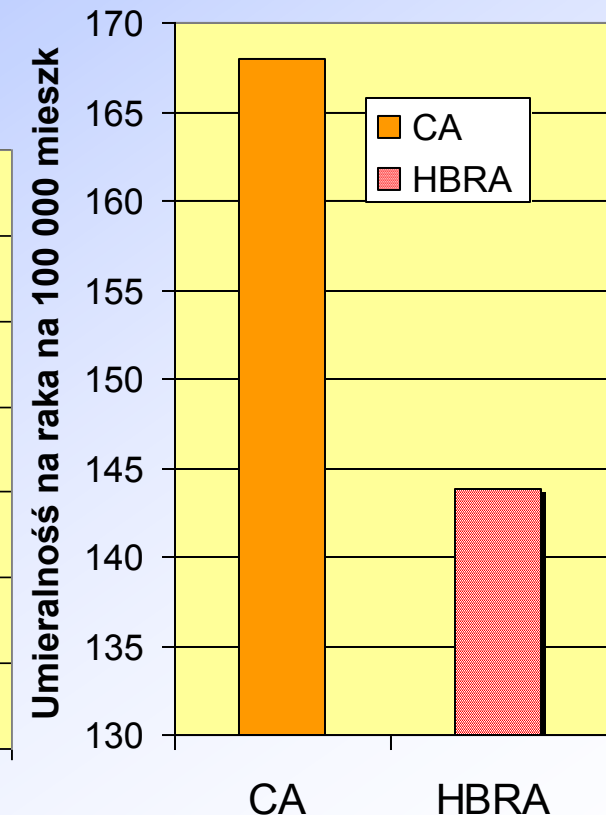
Otrzymana negatywna korelacja umieralności na raka i mocy dawki jest wyrażona współczynnikiem ujemnym o wartości $ERR = -0.11$

” .

Tło promieniowania



Umieralność na raka - Chiny



Prowadzone już od wielu lat badania w Chinach systematycznie dają wyniki sugerujące dobroczynne działanie promieniowania na organizm człowieka

Hot Bedroom!

Two survey meters show the dose rates of **142 and 143 μ Gy/h** on the wall of the bedroom of one dwelling. The owner has used the sedimentary stones formed at hot springs for construction of his house.



Mortazavi SMJ, Lessons learned from Ramsar Studies, Karlsruhe 2003

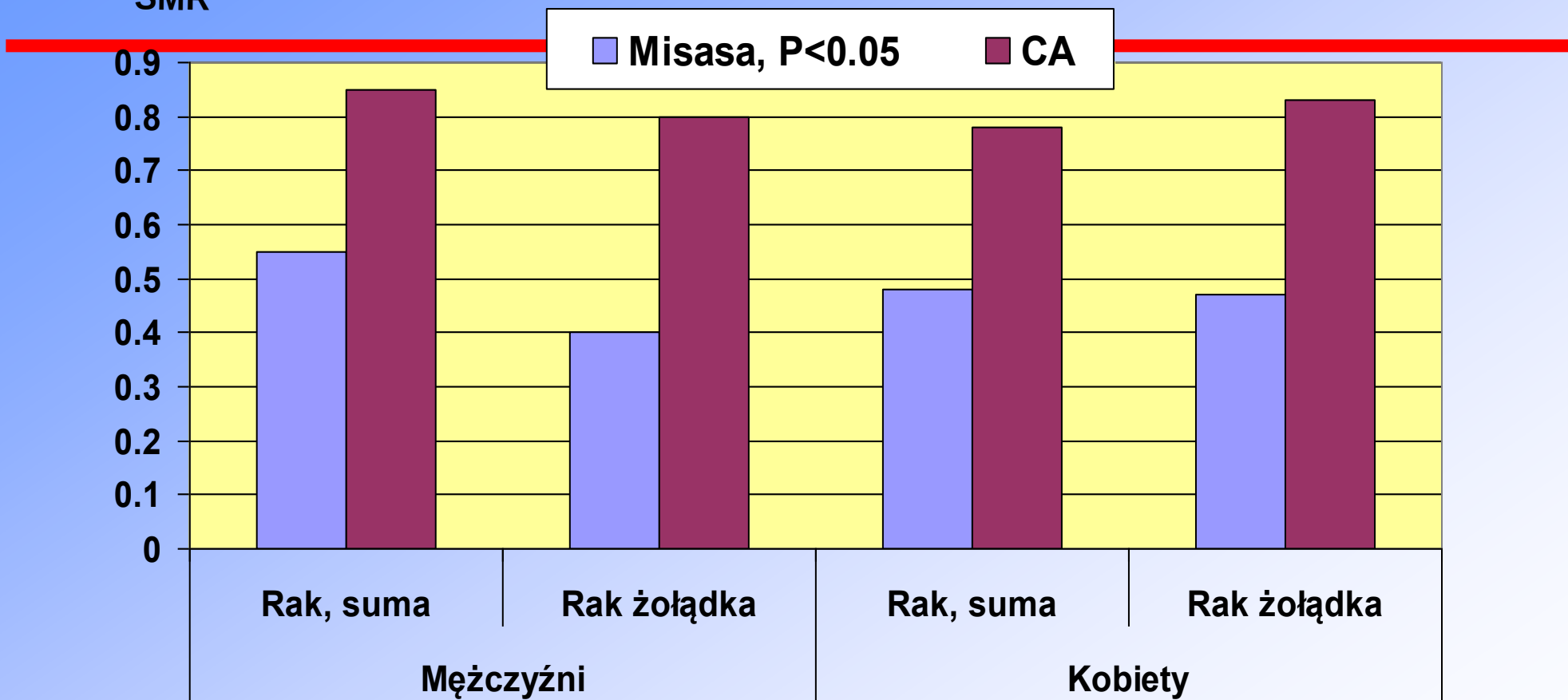
Dawki w Ramsar, Iran:
 $0.142 \text{ mSv/h} \times 8600 \text{ h/rok}$
 $\times 70 \text{ lat} = 88 \text{ Sv} !$

Dom w Ramsar: wiele pokoleń otrzymywało w ciągu 70 lat 17,000 mSv (240 razy więcej niż obecne limity ICRP dla społeczeństwa).

Ale nie występował wzrost żadnych zachorowań, a osiągniany wiek dochodził do 110 lat (Sohrabi 1990)."



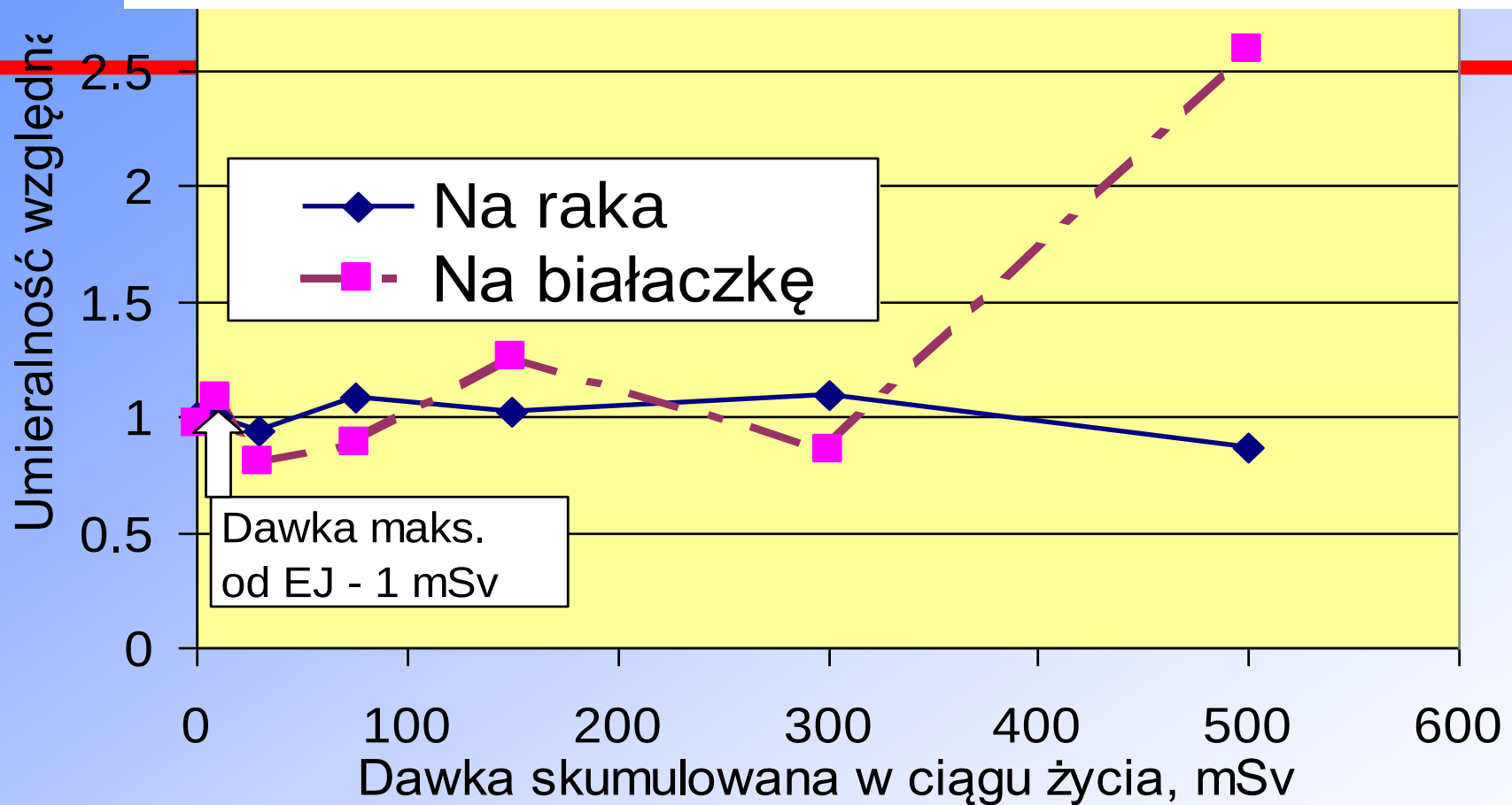
**Standaryzowany wskaźnik umieralności (SMR) na raka,
dane z [Mifune 92]**



W Misasa (uzdrowisko o wysokim promieniowaniu radonu) jest mniej zachorowań na raka niż w rejonie kontrolnym o przeciętnym promieniowaniu [Kondo 93]

Wpływ promieniowania na zdrowie pracowników , dane z [Cardis,95]

3

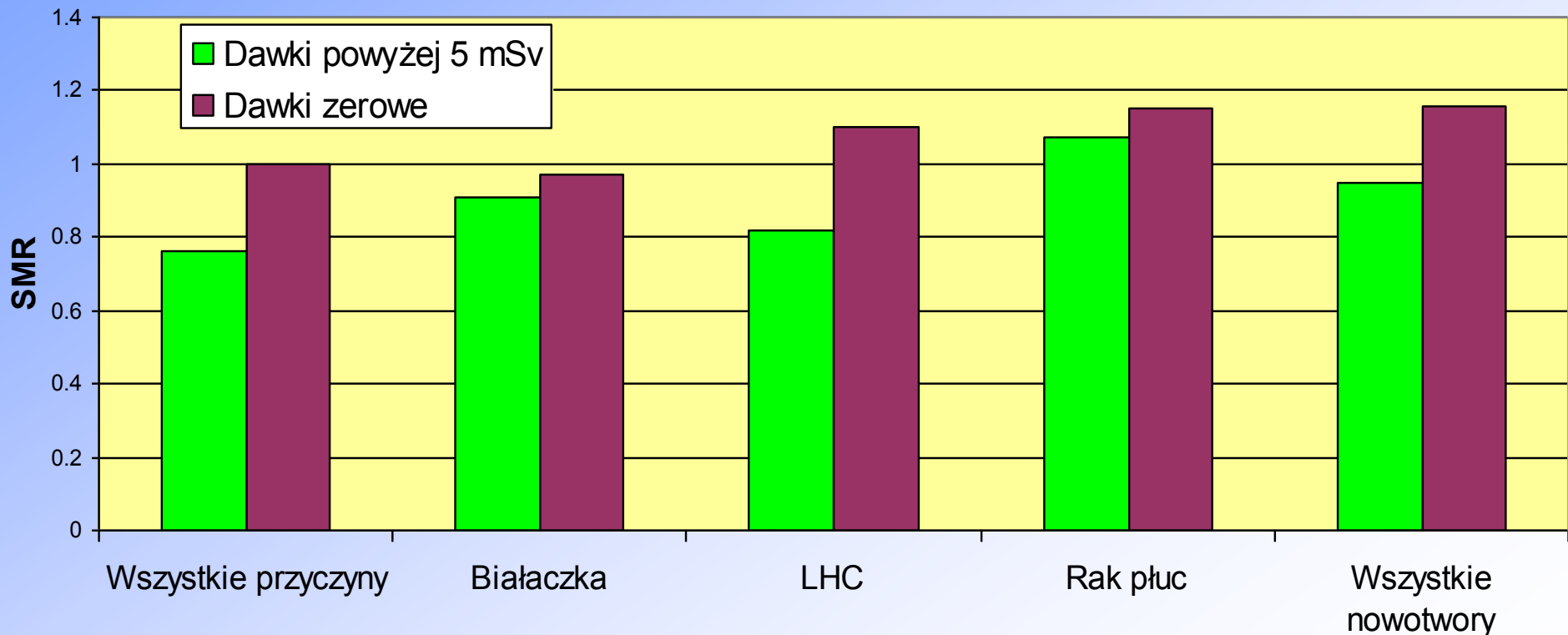


Studium 95,673 pracowników przemysłu jądrowego w 3 krajach wykazało że przy dawkach 20-50 mSv umieralność na raka wyniosła 94% umieralności w grupie kontrolnej (Cardis et al. 1995).

Stocznia Shippingport USA: umieralność na raka mniejsza wśród napromieniowanych

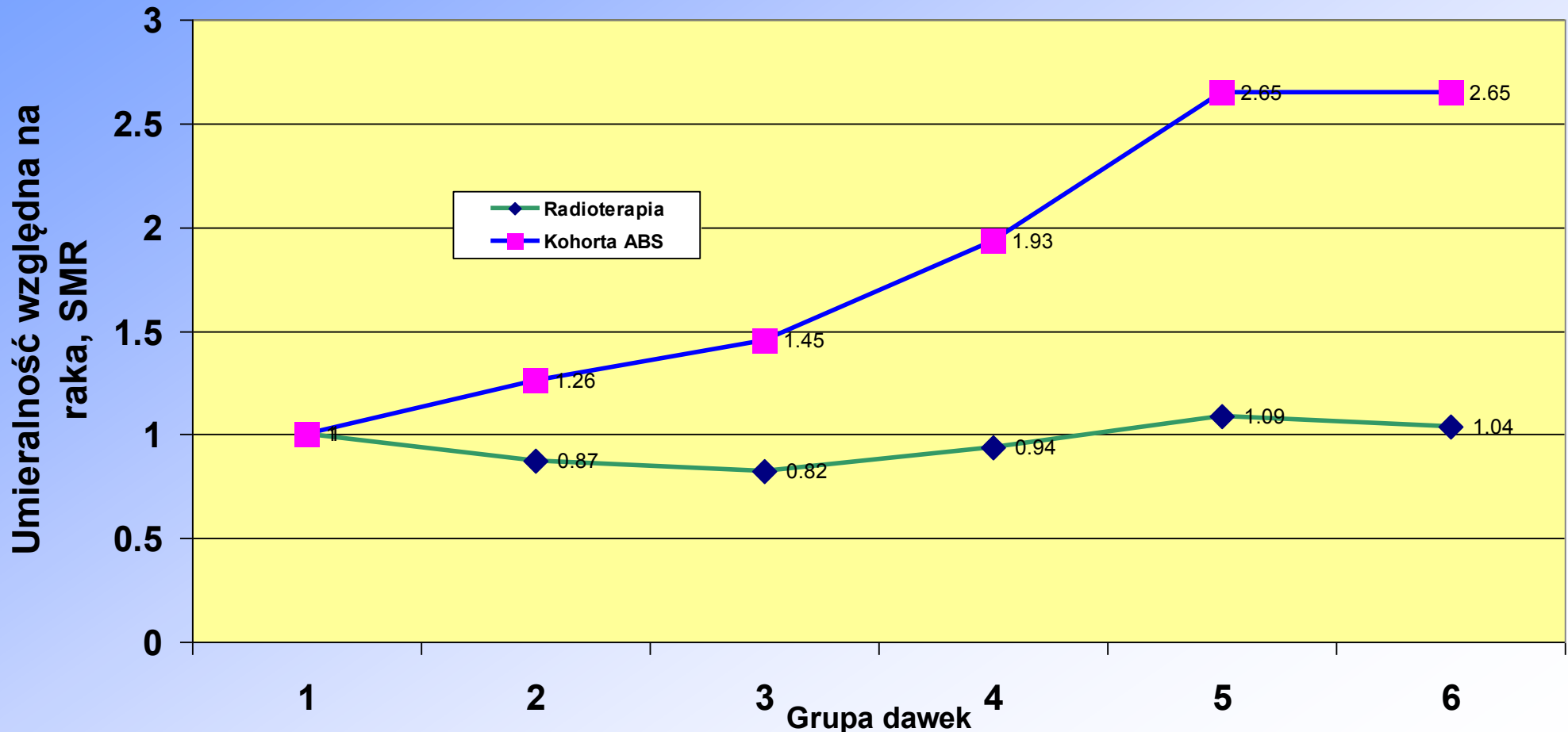
Umieralność na raka o 24% mniejsza w grupie dawek powyżej 5 mSv niż w grupie kontrolnej złożonej z pracowników tej samej stoczni, którzy nie byli napromieniowani

LHC- histiocytoza komórek Langerhansa



Terapia jodowa – a dawki po bombie. Efekty zależą od mocy dawki

Porównanie skutków napromieniowania terapeutycznego
małymi dawkami ze skutkami jednorazowego napromieniowania
w Hiroszynie i Nagasaki (dane z [Howe 95])



Osiągnięcia w badaniach procesów biologicznych po napromieniowaniu ludzi

Postęp w naszym zrozumieniu procesów biologicznych, które zapewniają obronę komórek i organizmu człowieka przed zagrożeniem radiacyjnym pozwolił opisać **zróżnicowane procesy obronne**, które mają różny charakter w zależności od wielkości dawki.

Przy **bardzo małych dawkach** (poniżej kilku mGy) nie dostrzega się żadnych ujemnych skutków napromieniowania tkanki, ponieważ uszkodzone komórki nie są naprawiane, lecz umierają

Wg Francuskiej Akademii Nauk, „*Eliminacja tych uszkodzonych komórek zabezpiecza organizm przed potencjalnymi złośliwymi nowotworami*” Jednocześnie **procesy obronne powodują zwiększenie odporności organizmu na inne zagrożenia**, występujące w normalnych procesach metabolicznych, np. wzmagają usuwanie toksyn, takich jak aktywne utleniacze, co chroni DNA przed uszkodzeniem

Wpływ napromieniowania na procesy naprawcze w organizmie

- Promieniowanie zwiększa liczbę uszkodzeń, ale ten przyrost jest mały w stosunku do uszkodzeń powstających nieustannie wskutek działania wolnych rodników i aktywnych postaci tlenu.
- Procesy naprawcze są pobudzane i działają bardziej skutecznie zarówno w stosunku do uszkodzeń popromiennych jak i w stosunku do uszkodzeń powodowanych przez metabolizm
- Wg Feinendegena skuteczność rośnie 20% przy dawce 1 cGy.
- Liczba dodatkowych uszkodzeń jest znacznie mniejsza od 20%, wg Feinendegena promieniowanie powoduje około 1 na 10 000 000 mutacji trwałych z procesów endogennych przy dawce 0.1 cGy, a 1 na 1 000 000 przy 1 cGy..
- **Efekt to redukcja wszelkich zachorowań na nowotwory, wynosząca przy dawce 1cGy około 20%.**

Populacja narażona na promieniowanie	Liczba osób/średnia dawka	Umieralność w stosunku do grupy kontrolnej
Rejon w Chinach	80 000/5,5 mSv na rok, 274 mSv przez 50 lat	Niższa o 14,6% [Wei 97]
Pracownicy nuklearni, USA, Kanada, UK	95 000/80% poniżej 50 mSv	Niższa o 7%/Sv [Cardis 95]
Pracownicy nuklearni, Japonia	115 000/14 mSv	Znacznie niższa [Hosoda 97]
Stocznia Shippingport, USA	70 000/28 500 ponad 5 mSv, inni poniżej 5 mSv	Niższa o 24% [Matanoski 91]
Ośrodek jądrowy w Hanford, USA	44 154/23 mSv	Niższa [Gilbert 93]
Pacjenci, diagnostyka J-131	34 000/1100 mSv	Częstość raka dorosłych b.z. [Hall, 96]
USA rejony o wysokim promieniowaniu kosm.	43 rejonów w USA, 0,6- 1,6 mSv/rok	Niższa [Hickey 81]
USA, Domy wysokie stężenie radonu	1601 rejonów 90% of ludności USA	Niższa [Cohen 95]
Brytyjscy radiolodzy w okresie 1955-1979	1352 osób/100 mSv, gr. kontr.- lekarze ogólni	Niższa o 32%, rak o 29% [Berrington 01]

A więc, czy małe dawki promieniowania są szkodliwe?

Obserwacje w dużych populacjach: małe dawki promieniowania nie wywołują szkodliwych skutków.

To nie dowodzi, że promieniowanie jest dobroczynne. **Ale nawet jeśli są efekty szkodliwe, nie da się ich stwierdzić.**

We wszystkich porównaniach różnych źródeł energii, aby uniknąć zarzutu, że faworyzujemy energię jądrową, **zakłada się, że nawet małe dawki promieniowania wiążą się z ryzykiem** według hipotezy o zależności liniowej skutków od dawki (LNT) .

Ale nie bójmy się małych dawek, promieniowanie jest naturalną częścią naszego środowiska, tak jak temperatura i ciśnienie powietrza.