

DOBROCZYNNE PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

METODY I TECHNIKI JĄDROWE

KAROL WOJTKOWSKI
UNIwersytet Warszawski - FIZYKA
POLITECHNIKA WARSZAWSKA - FIZYKA TECHNICZNA

SPIIS TREŚCI

1. *Wstęp, czyli słów kilka o promieniowaniu jonizującym.*
2. *Promieniowanie jonizujące – cechy negatywne i pozytywne. Jak je postrzegać aby widzieć w nim pozytywne skutki dla nas i naszego otoczenia.*
3. *Przypadek Czarnobyla jako punkt zwrotny w dziedzinie ochrony radiologicznej.*
4. *Hormeza i jej efekty stymulujące oraz adaptacyjne.*
5. *Aspekty etyczne i ekonomiczne*
6. *Wnioski.*

1. Wstęp, czyli słów kilka o promieniowaniu jonizującym.

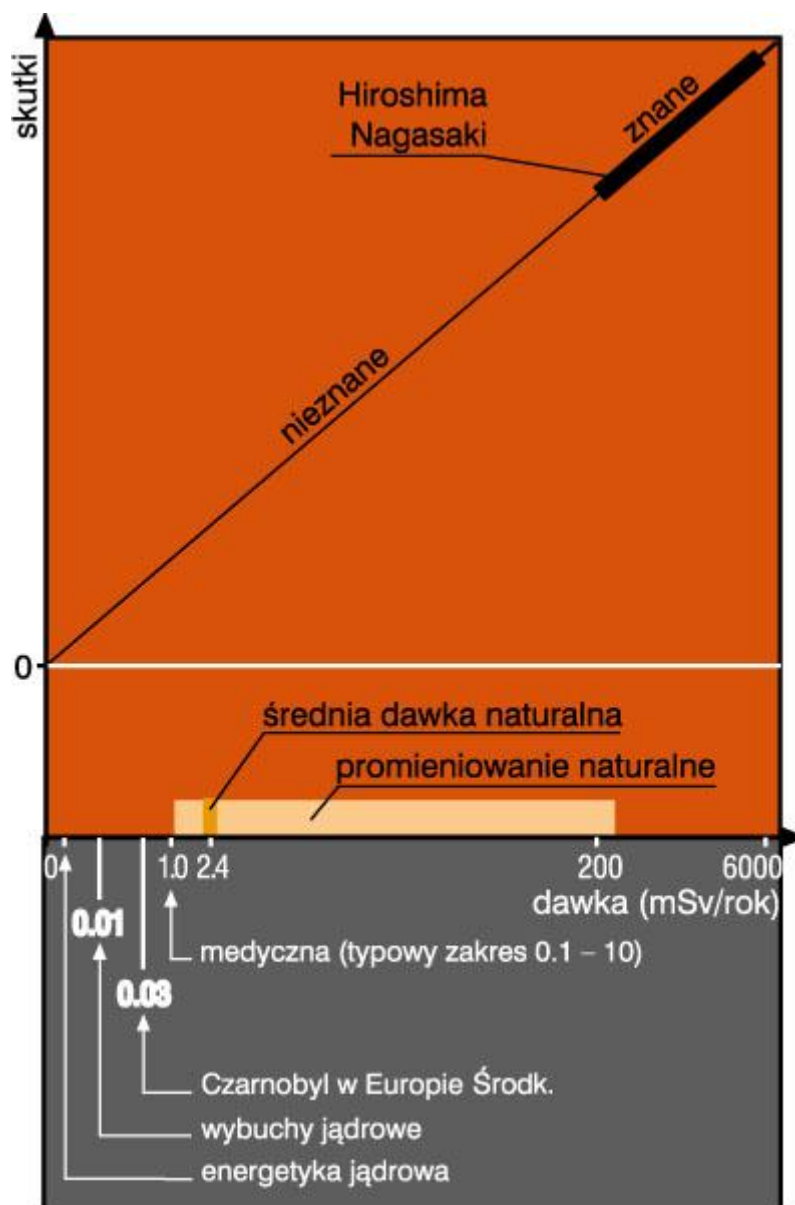
Na wstępie warto określić czym tak na prawdę jest pojęcie „promieniowania jonizującego”. Bardzo często czytamy w prasie na temat skażonej żywności, efektach wybuchu elektrowni jądrowej w Czarnobylu. Nieczęsto jednak można dowiedzieć się co oznaczają używane skróty, nazwy pojęć fizycznych – czy dane skażenie stanowi zagrożenie radiologiczne i jaka jest jego skala. Warto zwrócić uwagę, iż klucz do poczucia bezpieczeństwa jest w naszych rękach – umiejętność rzeczywistej oceny aktualnej sytuacji, analityczne myślenie i na tej podstawie podejmowanie osobistej decyzji. Promieniowanie jonizujące to wysyłanie i przenoszenie energii. Jest wiele rodzajów promieniowania. Słońce promieniuje światło i ciepło, a także promieniowanie ultrafioletowe. Grzejnik (kaloryfery) wysyła promieniowanie cieplne (podczerwone). Nadajniki radiowe i telewizyjne wysyłają fale radiowe i promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniają lub odbierają promieniowanie telefony komórkowe oraz wiele innych urządzeń i aparatów elektrycznych. Szczególną formą promieniowania jest promieniowanie jonizujące, czyli promieniowanie niosące dużą energię wystarczającą do zjonizowania obiektów, przez które przechodzi. Jonizacja zaś to wywołanie zmian elektrycznych w materii, wytwarzanie w elektrycznie obojętnym ośrodku cząsteczek obdarzonych ładunkiem elektrycznym. Istnieją w przyrodzie nietrwałe pierwiastki chemiczne – rozpadają się tworząc inne. Nazywamy je radionuklidami – a zjawisko ich rozpadu – promieniotwórczością. Słyszeliśmy zapewne o promieniotwórczych: uranie (pierwiastek naturalny, paliwo reaktorów), radonie (gaz naturalny, pochodzący z gleby i skał) oraz cez (radionuklid sztuczny, w śladowych ilościach w grzybach). Chodzi o ^{235}U , radon ^{222}Rn i cez ^{137}Cs – tak bowiem oznaczamy wymienione radionuklidy. Warto wiedzieć, że liczby przy symbolach pierwiastków chemicznych określają sumę liczb neutronów i protonów w jądrach atomów radionuklidu. Radionuklidy rozpadają się emitując promieniowanie jonizujące np. cez ^{137}Cs wysyła min. promieniowanie gamma. Promieniowanie jonizujące to nie tylko promieniowanie gamma, ale również alfa i beta. Promieniowanie alfa to jądra atomów helu natomiast promieniowanie beta to elektrony. Można rzec, że każdy z nas jest zanurzony w morzu promieniowania. Promieniowanie było zawsze, zarówno w trakcie powstawania Ziemi, jest obecnie i będzie nadal. Ciągłe oddziałuje na nas promieniowanie docierające do powierzchni Ziemi z Kosmosu, promieniowanie pochodzące z substancji radioaktywnych, znajdujących się w skorupie ziemskiej, w powietrzu, w całym otaczającym nas środowisku, a także we wszystkich żywych organizmach. Małe źródła promieniowania jonizującego są również w naszych ciałach. Jeśli człowiek, zwierzę lub jakiś obiekt materii nieożywionej znajdzie się w obszarze promieniowania to zostanie napromieniowany. Napromieniowany obiekt czy organizm nie staje się źródłem promieniowania, nie wysyła promieniowania. Można ulec napromieniowaniu zewnętrznemu (np. poddając się prześwietleniu rentgenowskiemu) lub wewnętrznemu, jeśli źródło promieniowania oddziałuje od wewnątrz (np. izotopy, które dostały się do organizmu z żywnością). Jeśli na skórze człowieka lub wewnątrz jego organizmu znajdują się substancje promieniotwórcze to mówimy, że uległ on skażeniu promieniotwórczemu. Skażone może być też środowisko naturalne człowieka, żywność, woda czy powietrze. Pozbywanie się skażenia nazywamy dekontaminacją lub dezaktywacją.

2. Promieniowanie jonizujące – cechy negatywne i pozytywne. Jak je postrzegać aby widzieć w nim pozytywne skutki dla nas i naszego otoczenia.

Często promieniowanie jonizujące traktowane jest jako źródło zagrożenia dla człowieka i środowiska. Nie pamiętamy wówczas, że jodem promieniotwórczym leczy się raka tarczycy,

że bez skażeń akceptujemy klasyczne badania rentgenowskie, tomograficzne, mammograficzne oraz wykorzystujemy promieniowanie jonizujące w urządzeniach służących ochronie środowiska, w przemyśle i nauce. Zatem jak to jest z promieniowaniem? Warto lepiej poznać wyżej opisane zjawisko i pojęcie, gdyż im mniej wiemy o jakimś zjawisku tym większy budzi w nas lęk. W 1994 roku powstał raport Komitetu Naukowego Narodów Zjednoczonych ds. skutków Promieniowania Atomowego. Przedstawiał on stan wiedzy o stymulujących skutkach promieniowania jonizującego. Dokument ten omawiał dane eksperymentalne i epidemiologiczne wskazujące, że poniżej pewnego progu dawki promieniowania nie ma zauważalnego zwiększenia zachorowań na nowotwory złośliwe oraz, że małe dawki, takie jakie spotykamy w warunkach normalnych, mogą wywołać skutki pozytywne dla organizmu. Od greckiego słowa hormao – pobudzam, takie skutki małych dawek noszą nazwę hormezy. Hormeza radiacyjna to postulowany korzystny wpływ małych dawek promieniowania jonizującego na żywe organizmy, polegający m.in. na zmniejszeniu prawdopodobieństwa zachorowania na nowotwory złośliwe i inne choroby o podłożu genetycznym. Poprawność modelu hormezy radiacyjnej została wykazana w wielu doświadczeniach (także na badaniach populacji ludzkiej, zamieszkałej w rejonach o podwyższonym tle naturalnym np. ludności Białorusi i Ukrainy narażonej na opad radioaktywny po katastrofie czarnobylskiej), jednak przyjmuje się, iż dowody te są niewystarczające do uznania tej hipotezy za poprawną. Mechanizm hormezy radiacyjnej polega na stymulowaniu komórkowych mechanizmów naprawczych w obszarze małych dawek, co powoduje spadek liczby uszkodzeń DNA prowadzących do powstawania nowotworów, ze wzrostem dawki promieniowania. Poglądem przeciwnym do hipotezy hormezy radiacyjnej jest liniowy model bezprogowy (z ang. LNT), według którego promieniowanie jest bezwzględnie szkodliwe, a stopień szkodliwości zależy liniowo od wielkości dawki. W 1980r. Na posiedzeniu UNSCEAR polska delegacja zaproponowała aby Komitet dokonał przeglądu ogromnej literatury na temat hormezy, jaka zebrała się w ciągu ubiegłych dziesiątków lat. Propozycja ta napotkała wówczas na zdecydowany opór większości członków Komitetu. Rokrocznie ponawiano tę propozycję bez skutku. Dopiero po katastrofie w Czarnobylu zmienił się nastrój i Komitet zdecydował, że należy rozpatrzyć tę sprawę. Dlaczego hormeza radiacyjna była tak długo odrzucana i negowana? Mity mają długie życie, zwłaszcza te, które szerzą strach a do niedawna samo istnienie hormezy było rodzajem tabu w kręgach naukowych. Zjawisko hormezy jest bowiem całkowicie niezgodne z tzw. „hipotezą liniową” leżącą u podstaw obecnej filozofii i polityki ochrony radiologicznej. Hipoteza ta twierdzi, że zależność pomiędzy dawką a skutkiem ma postać linii prostej i że nawet najmniejsza dawka, bliska zerowej przynosi zawsze szkodę. Hipoteza ta zakłada, że nie istnieje żaden próg dawki, poniżej którego przestają występować efekty popromienne obserwowane przy dużych dawkach. Z tego powodu jest ona często nazywana „hipotezą bezprogową”. Uważa się przy tym, że efekty te są wyłącznie szkodliwe, takie jak skrócenie długości życia, powstawanie nowotworów złośliwych i uszkodzenia genetyczne oraz przy małych dawkach nie występują żadne inne niż szkodliwe skutki popromienne. Hipoteza liniowa miała ogromny wpływ na rozpowszechnienie się „radiofobii” – irracjonalnego strachu przed promieniowaniem. Została ona arbitralnie przyjęta przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej jako podstawa ochrony osób narażonych zawodowo na promieniowanie jonizujące. Z upływem lat mass media, opinia publiczna, a nawet wielu naukowców zaczęło uważać tę roboczą hipotezę za udowodniony fakt. Jednak zasada bezprogowego oddziaływania promieniowania pozostaje nadal jedynie quasi – administracyjnym założeniem i nie jest zasadą naukową. W czasie, gdy hipoteza liniowa stawała się kamieniem węgielnym ochrony radiologicznej, większość informacji, na których ją oparto, pochodziła z badań epidemiologicznych osób ocalonych z ataków atomowych na Hiroszimę i Nagasaki. Osoby te zostały napromieniowane dawkami sięgającymi 6000

milisiewertów (mSv). Dane z Japonii wskazywały, że nowotwory popromienne powstają po dawkach jednorazowych setki i tysiące razy wyższych od naturalnej dawki promieniowania wynoszącej średnio na mieszkańca Ziemi 2,4 mSv rocznie lub 168 mSv w ciągu 70 lat życia. Dane te nie wskazują, że jakiegokolwiek nowotwory są wywoływane przez promieniowanie tła naturalnego lub przez zwykłe narażenie ogółu populacji na promieniowanie wytworzone przez człowieka. Hipoteza liniowa została powszechnie zaakceptowana, ponieważ upraszczała tworzenie przepisów ochronnych przez ekstrapolację z obszaru wysokich dawek – skąd znane są godne zaufania dane epidemiologiczne do nieznanego obszaru małych dawek. Początkowym celem była ochrona przed promieniowaniem stosunkowo małej grupy osób narażonych zawodowo, co nie wiązało się z nadmiernymi kosztami społecznymi. W latach 70' rozpropagowała się zasada bezprogowości na narażenie ogółu ludności, a w latach 80' na narażenie od naturalnych źródeł promieniowania:



Ryc 1. Hipoteza liniowa ekstrapoluje wyniki badań epidemiologicznych ludności Hiroshimy i Nagasaki, napromieniowanej dużymi dawkami, do dawki zerowej. Średnie dawki

promieniowania od opadu czarnobylskiego w pierwszym roku po katastrofie, oraz obecne dawki od wybuchów jądrowych, energetyki jądrowej, diagnostyki rentgenowskiej i promieniowania naturalnego .

Ograniczenia narażenia radiacyjnego poniżej poziomu dawek naturalnych, przy których miliony ludzi żyło od niepamiętnych czasów, jest logiczną konsekwencją założenia, że jeżeli każda dawka jest szkodliwa, to należy zmniejszać również ryzyko od promieniowania tła, które zawdzięczamy Matce Naturze, lub od takich znikomych dawek jak 1 mSv rocznie. Takie rozumowanie okazało się jednak nie do przyjęcia dla wielu naukowców związanych z ochroną radiologiczną. Przyczyną był nie tylko problem epistemologiczny przekraczania granic poznania, ale również absurdalne konsekwencje praktyczne i aspekty moralne. Dalszą logiczną konsekwencją hipotezy bezprogowej było wprowadzenie zasady dawki kolektywnej, zgodnie z którą suma efektów szkodliwych po jakiejś dawce np. po 100 000 mSv, będzie taka sama, niezależnie od tego czy dawka ta będzie rozłożona na 100 osób po 1000 mSv, czy na 100 000 osób po 1 mSv, Przedłużeniem tego ciągu logicznego było wprowadzenie tzw. dawki obciążającej, zgodnie z którą z dawki otrzymanej przez współcześnie żyjącego człowieka np. od opadu czarnobylskiego, oblicza się całość dla wszystkich przyszłych pokoleń aż do nieskończoności. Wymaga to oczywiście ponadludzkiej wszechwiedzy: informacji o wielkości wszystkich przyszłych pokoleń oraz o zmianach środowiska. Tę ostatnią trudność ominięto uznając, że środowisko się nie zmienia. Można się zgodzić, że całkowanie do nieskończoności jest pięknym ćwiczeniem matematycznym oderwanym od rzeczywistości. Nie w nieskończoności, ale zaledwie 10 000 lat temu znaczną część Europy i Północnej Ameryki przeorał gruby lodowiec, który do głębokości kilkuset metrów zupełnie zmienił geomorfologiczną budowę wielu krajów. Czy możemy przyjąć, że już nigdy nie wróci żadna epoka lodowcowa? Co trzyma w zanadru tektonika płytowa na następne miliony lat? Dostrzeżono, że liniowa i bezprogowa zależność dawka-skutek, na której oparto koncepcję dawki kolektywnej jest tylko „ostrożnym założeniem”, którego ważność nie została udowodniona, stwierdzono, że nie można zakładać aby współczynniki ryzyka obliczone z obserwacji skutków po wysokich dawkach mogły mieć zastosowanie do małych dawek. Jednym z pozanaukowych czynników, które ułatwiły powszechne przyjęcie hipotezy liniowej w końcu lat pięćdziesiątych i początku sześćdziesiątych, była ważna sprawa polityczna: aby wstrzymać próby jądrowe w atmosferze, w nadziei, że ukróci to szaleńczy wyścig zbrojeń atomowych, należało poruszyć opinię publiczną. Przewidywano np. jakie skutki genetyczne przyniesie odległym pokoleniom długo żyjący węgiel C-14, wprowadzany do atmosfery wybuchami jądrowymi. Wyścigu niestety nie wstrzymano, ale ostatnią bombę wodorową eksplodowano w powietrzu w 1980r. na poligonie w Lob Nor. Gdy więc sprawę wybuchów atmosferycznych załagodzono, należało bezkrytycznie zapomnieć o czynnikach pozanaukowych i przyjąć model zasady bezprogowej.

3. Przypadek Czarnobyla jako punkt zwrotny w dziedzinie ochrony radiologicznej

Absurdalność zasady bezprogowej ukazała ię w pełnym świetle po wypadku w Czarnobylu. Gigantyczna sieć monitoringu skażeń radioaktywnych nieporównywalnie większa niż jakikolwiek inny system wykrywania skażeń, dostarczyła ogromną liczbę danych o dawkach promieniowania jakie od opadu promieniowania czarnobylskiego otrzymała ludność Półkuli Północnej. Tak np. okazało się, że ludzie żyjący w Stanach Zjednoczonych otrzymają w ciągu następnych 50 lat życia dawkę „czarnobylskiego promieniowania” sięgającą 0,00046 mSv czyli 0,004 % dawki, jaką w tym samym czasie otrzymają ze źródeł naturalnych (120mSv).

Ludność pozostałej Półkuli Północnej otrzyma 0,3% dawki naturalnej, a w europejskiej części byłego Związku Sowieckiego 5%. Te znikome dawki promieniowania użyto następnie, zgodnie z hipotezą liniową, do obliczenia liczby zgonów nowotworowych, jakie powstaną w ciągu 50 lat. Obliczono np. że w Stanach Zjednoczonych umrze na nowotwory w wyniku katastrofy w Czarnobylu 30 osób, na całej Półkuli Północnej 28 000, a w byłej sowieckiej Europie 25 400. Liczby zgonów czarnobylskich przez proste pomnożenie dawek od opadu promieniotwórczego przez liczbę żyjących ludzi w poszczególnych regionach oraz przez współczynnik ryzyka oparty na badaniach epidemiologicznych 75 000 mieszkańców Hiroszimy i Nagasaki, którzy przeżyli atak jądrowy. Jednak mieszkańcy ci zostali napromienieni dawkami promieniowania, jaką ludzie żyjący w Stanach Zjednoczonych otrzymują w ciągu 50 lat od opadu czarnobylskiego. Nie istnieją dane zastosowania dla oceny śmiertelności nowotworowej ludności po katastrofie w Czarnobylu. Tylko w nielicznych tego typu rodzaju ocenach poczarnobylskiej śmiertelności informowano czytelników, że istnieje możliwość skutków zerowych. Takie stwierdzenia nigdy nie były cytowane przez mass media, które przedstawiały tysiące zgonów od promieniowania z Czarnobyla jako udokumentowany fakt, a nie jako hipotetyczną ekstrapolację. Media nigdy nawet nie wspomniały o badaniach epidemiologicznych w różnych regionach globu, gdzie naturalne promieniowanie jest 100% do 1000% wyższe od średniego poziomu światowego a nie 0,004% lub 0,3% lub 5% tego poziomu. W rejonach tych nie stwierdzono jakiegokolwiek epidemii nowotworów popromiennych, a raczej zmniejszenie ich częstości. Międzynarodowy zespół 200 ekspertów (z 25 krajów), który w 1990r. dokładnie przebadał narażenie radiacyjne i stan zdrowia ludności rejonów Białorusi i Ukrainy, silnie skażonych opadem czarnobylskim stwierdził: „nic nie wskazuje na wzrost chorób genetycznych i wrodzonych, które mogłyby być wywołane napromienieniem”. Ten sam zespół nie stwierdził również wzrostu występowania białaczek na tych terenach. Pojawiały się informacje o wzroście zachorowań na nowotwór tarczycy w rejonach Białorusi i Ukrainy skażonych opadem czarnobylskim. Zdawać się mogło, iż obserwowany wzrost mógł być spowodowany zwiększoną częstością i jakością badań diagnostycznych, jaki nastąpił na tych terenach po wypadku w Czarnobylu. Dawka promieniowania zaabsorbowanego przez tarczycę dzieci od jodu-131 sięgała od 0,64 do 2,4 Gy. Wspomniany wyżej zespół ekspertów stwierdził, że występowanie guzów tarczycy u tych dzieci było takie same jak u dzieci nieskażonych jodem-131 z opadu czarnobylskiego. Wśród 35 000 pacjentów szwedzkich, którym podano jod-131 dla celów diagnostycznych (średnia dawka promieniowania 0,5 Gy) obserwowanych przez ponad 10 lat, nie zauważono wzrostu nowotworów tarczycy. Poczarnobylskie raki tarczycy ciągle czekają na nowe naukowe wyjaśnienie. Arytmetyka bezprogowa została w praktyce zastosowana dla lokalnej ludności wokół Czarnobyla i doprowadziła do ewakuacji około 116 000 mieszkańców Ukrainy i Białorusi. Spowodowało to ogrom cierpień i strat dziesiątków miliardów dolarów. Jako interwencyjny poziom promieniowania dla tej ewakuacji przyjęto w 1986r. dawkę 350 mSv. w ciągu 70 lat życia, czyli około podwojenie średniej dawki naturalnej (168 mSv). Wszystkie rodziny z kobietami ciężarnymi i dziećmi w wieku poniżej 12 lat wysiedlono z rejonów, gdzie życiowa dawka promieniowania mogła przekroczyć wartość 350 mSv. Głównym źródłem napromieniania był tam cez-137. Zawartość tego radionuklidu w ciele dzieci żyjących nadal na tych terenach sięga od 40 do 2250 Bq. Natomiast u mieszkańców północnej Kanady zawartość cezu-137 wynosi obecnie kilka tysięcy Bq, a w okresie prób broni jądrowej w atmosferze w latach sześćdziesiątych wynosiła około 100 000 Bq. W kwietniu 1990r. w Związku Sowieckim wbrew zaleceniom najlepszych ekspertów, zmieniono „interwencyjny poziom promieniowania” (dawkę życiową) na „interwencyjne skażenie terenu” wynoszące 555 kBq/ m². Skażenie to odpowiada dawce życiowej około 150 mSv. W Polsce występowały podobne zakusy np. 26 Bq jodu-131/litr jako poziom interwencyjny w mleku, kiedy winien on sięgać tysięcy Bq. Podobnie było i w innych krajach europejskich,

lecz nigdzie te sprawy nie ciągnęły się tak długo, nie miały tak dramatycznego przebiegu (np. samobójstwo wicedyrektora Instytutu im. Kurczatowa członka Akademii B.A. Legasowa i nie prowadziły do tragicznych konsekwencji w tak wielkiej skali jak w byłym Związku Radzieckim. Biorąc pod uwagę średnie wartości dawek promieniowania naturalnego można zadać pytanie: dlaczego rządy różnych krajów nie wysiedlają ludności z rejonów, gdzie dawka życiowa tego promieniowania przekracza 350 mSv? Na przykład dlaczego nie ewakuuje się wszystkich mieszkańców Norwegii, gdzie średnia dawka życiowa wynosi 365 mSv. a w niektórych województwach wynosi 1500 mSv. czy nie należałoby wyludnić niektórych regionów Indii, gdzie dawka życiowa wynosi ponad 2000 mSv. ? A co z rejonami Iranu gdzie poziom promieniowania naturalnego przekracza 3000 mSv na 70 lat? Istnieją również takie wyjątki jak miasto Ramsar, gdzie grupa mieszkańców otrzymuje średnią naturalną dawkę życiową promieniowania wynoszącą 17 000 mSv. Mieszkańcy tego terenu nie wykazują zwiększonej zachorowalności na nowotwory i inne schorzenia a niektórzy z nich osiągnęli wiek 110 lat. Stosowanie hipotezy bezprogowej do kalkulacji „dokładnej” liczby imaginacyjnych ofiar opadu czarnobylskiego jest podobne do zachowania się kogoś kto policzył liczbę zgonów w małej grupie osób usiłujących popełnić samobójstwo przez spożycie 50 000 tabletek aspiryny na osobę za jednym posiedzeniem, a następnie stwierdził, że ta sama liczba zgonów wystąpi w innej grupie, 50 000 razy większej, w której każdy będzie jadł niewyobrażalnie mały ułamek tabletki aspiryny dziennie, tak aby jedna tabletki starczała na 50 lat. Większość osób w pierwszej grupie zmarłaby nawet przed jednorazowym skonsumowaniem wszystkich 50 000 tabletek, podczas gdy członkowie drugiej grupy nie wykazywaliby żadnych objawów chorobowych i mogliby nawet poprawić swój stan zdrowia, gdyby zwiększyli spożycie aspiryny do jednej tabletki dziennie

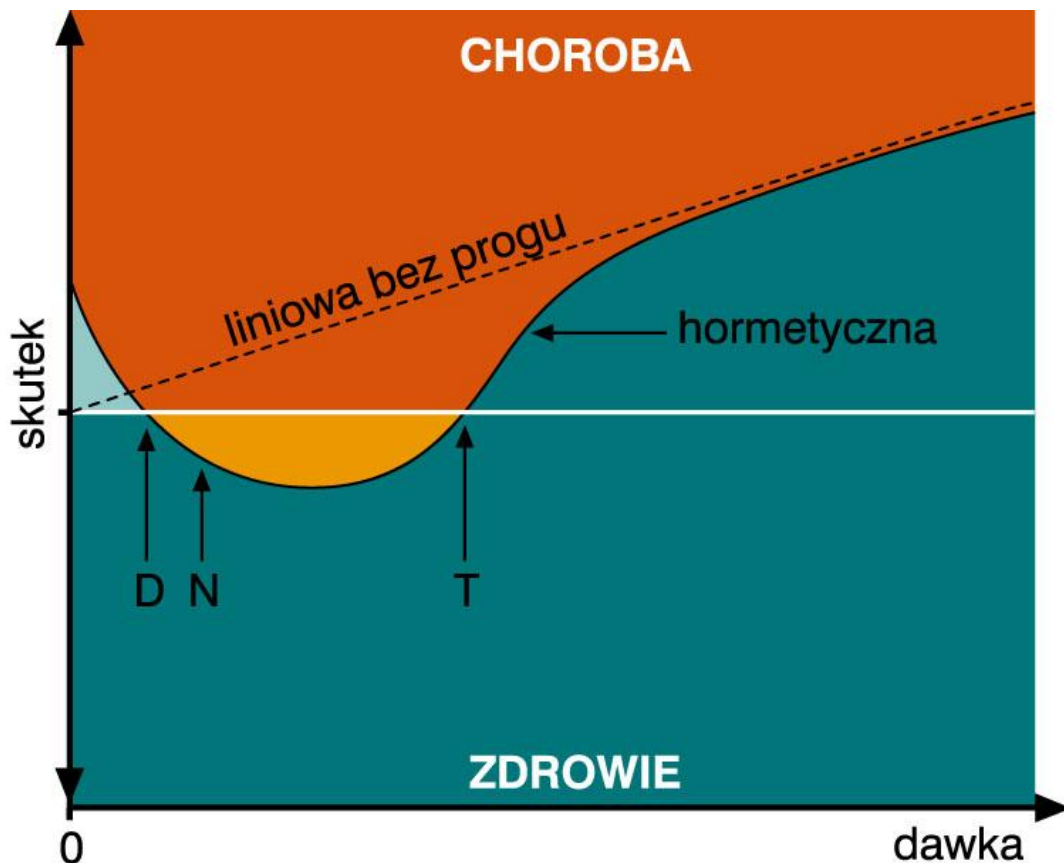
4. Hormeza i jej efekty stymulujące oraz adaptacyjne.

Przykład aspiryny dobrze ilustruje znany fakt, że dawka stanowi o tym, czy jakiś czynnik lub substancja są szkodliwe lub dają skutki niezauważalne lub dobroczynne. Dobroczynne skutki małych dawek promieniowania znane były od dawna. Najpierw zaobserwowano je u roślin, wkrótce po odkryciu promieni Rentgena w 1895r. W 1943 r. już we wczesnym stadium Manhattan Project – amerykańskiego programu budowy bomby atomowej – stwierdzono, że zwierzęta doświadczałe, które wdychały pył uranu w stężeniach mających prowadzić do śmierci, żyły dłużej, wyglądały zdrowiej i miały więcej potomstwa niż zwierzęta nie skażone. Obserwacje te latami uważano za anomalie, jednak późniejsze badania dały podobne wyniki. W pierwszym raporcie UNSCEAR dla Zgromadzenia Ogólnego Narodów Zjednoczonych znalazły się dane wskazujące na wyraźnie dłuższy czas przeżycia myszy i świnek morskich po małych dawkach promieniowania. Od początku lat sześćdziesiątych takie wyniki i obserwacje ignorowano w praktyce ochrony radiologicznej, nadal jednak prowadzono badania efektów stymulujących i adaptacyjnych promieniowania. Przegląd ponad 1200 prac na temat hormezy radiacyjnej został opublikowany w latach 90'. Badania na temat hormezy poruszano również wielokrotnie na konferencjach międzynarodowych. Wpływ paradogmatu bezprogowego był jednak tak wielki, że nawet oczywiste skutki hormetyczne widoczne w danych epidemiologicznych bywają niekiedy niezauważalne nie tylko przez czytelników ale i przez autorów licznych publikacji.

Tabela 1. Zgony na raka piersi wśród 31 710 kanadyjskich kobiet chorych na gruźlicę napromieniowanych w czasie prześwietleń rentgenowskich. Autorzy stwierdzili, że „Dane były najbardziej zgodne z liniową zależnością między dawką a skutkiem” i nie skomentowali efektu hormetycznego widocznego w zakresie dawek 100-190 mGy.

Dawka (mGy)	Zgony na 10 ³ osobno - lat
0-90	578,6
100-190	421,8
200-290	560,7
300-390	650,7
400-490	610,0
700-790	1362
1000-2900	1382
3000-5900	2334
6000-10 000	8000
> 10 000	20 620

Hormeza radiacyjna wychodzi poza „postulat progu” twierdzący, że poniżej pewnego poziomu nie powstają w organizmie skutki szkodliwe. Przy małych dawkach promieniowania powstają bowiem nowe, stymulujące efekty nie występujące przy dawkach wysokich. Te nowe skutki mogą być dobroczynne dla organizmu (rys.2).



Ryc 2. Uogólniony model odpowiedzi biologicznej na czynniki chemiczne i fizyczne. Deficyt czynnika (dawka mniejsza od D) powoduje objawy niedoboru(kolor jasnoniebieski). Małe dawki (pomiędzy D i T) poprawiają stan zdrowia (kolor jasnopomarańczowy). Dawki wyższe od T powodują toksyczne i inne skutki szkodliwe. N oznacza przybliżoną średnią dawkę naturalną promieniowania jonizującego. Linią przerywaną i ciągłą przedstawiono, odpowiednio, liniową – bezprogową i hormetyczną zależność dawki-skutek.

Otworzyło to nową dziedzinę badań. W przypadku braku hormezy nie byłoby możliwe rygorystyczne udokumentowanie występowania progu biologicznego działania radiacji. Wynika to z czysto statystycznej trudności udowodnienia, że jakiś skutek szkodliwy pojawia się z tą samą częstością przy dawce zerowej jak przy dawce nieco większej od zerowej. Natomiast jeżeli zjawisko hormezy powoduje zmniejszenie śmiertelności nowotworowej lub innych szkodliwych efektów w populacji ekspozowanej na małe dawki promieniowania w porównaniu z populacją nie ekspozowaną, to wówczas różnica może być statystycznie zmienna. Tak na przykład w populacji, w której normalna śmiertelność nowotworowa wynosi 20%, wzrost śmiertelności wskutek dodatkowej ekspozycji na 1 mSv rocznie, przewidywany przez ekstrapolację z dużych dawek zgodnie z hipotezą bezprogową, wynosiłaby 0,0005%. Taki wzrost stanowiłby więc zaledwie 1/4000 część normalnej śmiertelności nowotworowej i aby go wykryć należałoby zbadać astronomiczną liczbę ludzi. Jednak wskutek efektu hormetycznego spadek zgonów nowotworowych przy dawkach od 1 do 10 mSv. rocznie może osiągnąć całkiem znaczną 1/7 część normalnej śmiertelności, co wynika z epidemiologicznych badań w rejonach Chin o podwyższonym promieniowaniu naturalnym. Może to więc usunąć problem zbyt wielkich populacji potrzebnych do rozwiązania dylematu progu. Część informacji o dobroczynnych skutkach genetycznych promieniowania pochodzi z Hiroszimy i Nagasaki. Wskazują one, że ostre napromienienie dawkami średniej wielkości nie spowodowało skutków pogarszających zdrowie następnego pokolenia. Ujemne skutki genetyczne, jakie mogły powstać w napromienionej populacji, były tak małe, że nie dały się odróżnić od tła normalnie występujących zaburzeń genetycznych, nie udało się ich wychwycić nawet przy pomocy najbardziej wyrafinowanych metod statystyki epidemiologicznej. Ujawniły się również pozytywne skutki genetyczne. Wśród dzieci rodziców, którzy przeżyli atak jądrowy na Hiroszimę i Nagasaki, stwierdzono o 4% mniejszą śmiertelność niż u dzieci rodziców nie ekspozowanych na promieniowanie bomb atomowych, 23% mniej zaburzeń liczby chromosomów, 29% mniej aberracji chromosomowych, 30% mniej mutacji białek krwi.

Tabela 2. Częstość skutków genetycznych (w procentach) u dzieci rodziców, którzy przeżyli ataki tomowe w Hiroszynie i Nagasaki i zostali napromienieni dawkami 400-600 mSv.

Skutek	Nienepromienieni	Napromienieni
Zgony niemowląt 1946-1958	7,35	7,08
Aberracje chromosomowe	0,31	0,22
Zaburzenia liczby chromosomów	0,30	0,23
Mutacje białek krwi	0,0000060	0,0000045

Podobnie nieoczekiwane wyniki znaleziono w jednym z najlepszych studiów z zakresów genetyki ludzkiej przeprowadzonych na Węgrzech przed i po wypadku w czarnobylu. Kilka

ciężkich anomalii wrodzonych występowało na Węgrzech po katastrofie czarnobylskiej z częstością mniejszą niż przed katastrofą.

Tabela 3. Liczba zaburzeń rozwojowych dzieci (na 10 000) urodzonych na Węgrzech przed i po wypadku w Czarnobylu.

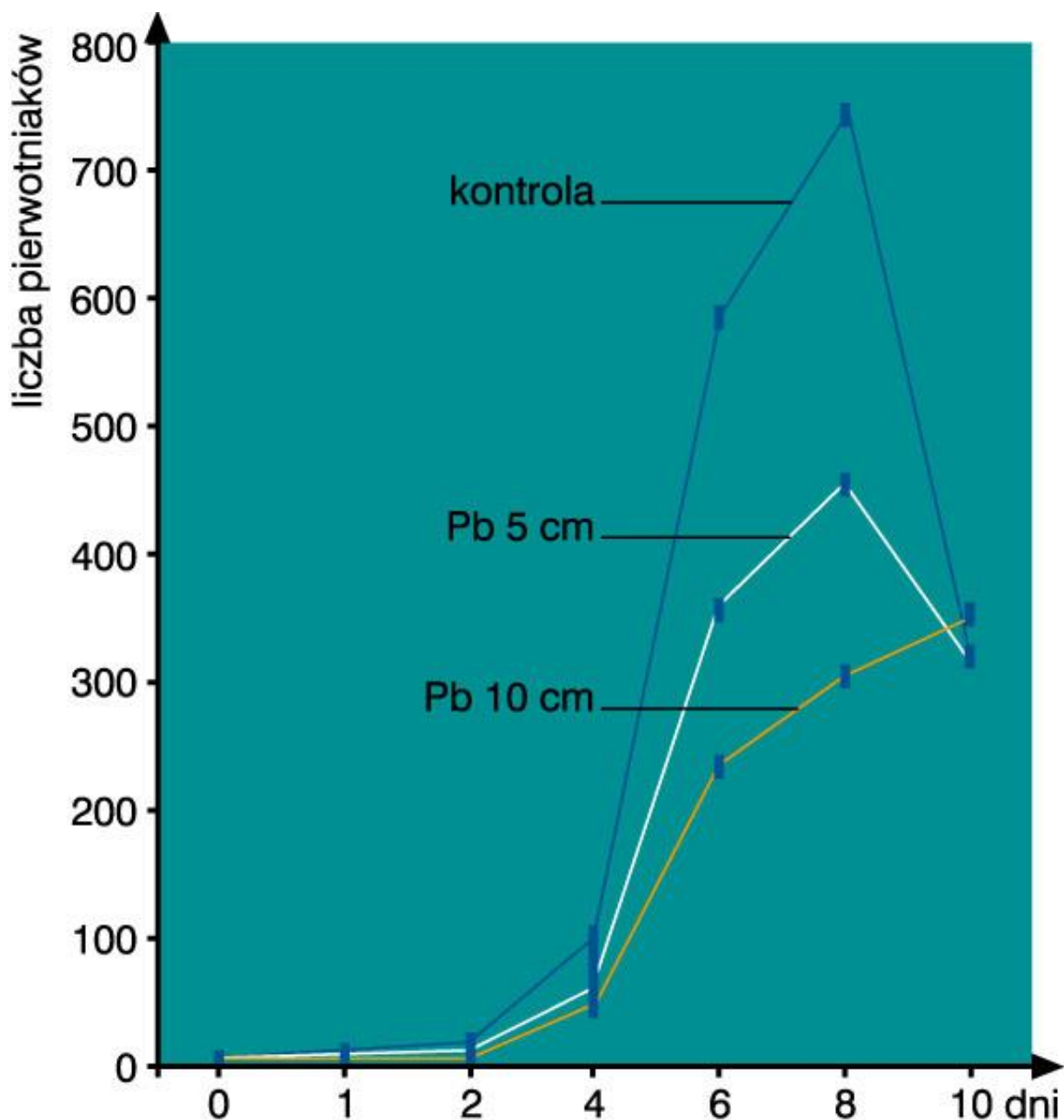
Zaburzenia rozwojowe	1980-1985	1 V 1986 30 IV 1987	1 V 1987 30 IV 1988
Liczba żywych urodzin	807 939	126 708	125 514
Zespół Downa	8,44	7,27	6,77
Retinoblastoma	0,32	0,16	0,08
Guz Wilmsa	0,80	0,47	0,56

Japońskie dane epidemiologiczne wskazują, że wśród osób, które przeżyły atak atomowy i były napromieniowane małymi dawkami (ale więcej niż dziesięciokrotnie wyższymi od limitu zalecanego dla ludności), ogólna śmiertelność jest o 40% niższa wśród osób nie napromieniowanych. Również Ci, którzy otrzymali dawki wyższe od 10 mSv, wykazują śmiertelność niższą niż ci, u których dawka była mniejsza niż 5 mSv. Jak wynika z rys. 4 u mężczyzn z Nagasaki napromieniowanych mieszkańców tego miasta.

Tabela 4. Śmiertelność ogólna w Nagasaki (na 100 000) w latach 1970-1976.

Płeć	Nienapromienieni	Napromienieni	
		< 5 mSv	> 10 mSv
Męska	45 731	27 551	25 835
Żeńska	27 291	18 970	17 957
Łącznie – procent nienapromienionych	100	63	59,9

W jednej z publikacji UNSCEAR przeprowadził analizę badań stymulujących skutków promieniowania. Skutki te wykryto na poziomie biochemicznym, komórkowym i całego organizmu, w kulturach komórkowych, w bakteriach, w roślinach i zwierzętach. Warto skupiać się na wyjaśnianiu mechanizmu hormezy radiacyjnej na poziomie systemów kontroli komórkowej, takich jak synteza białek, aktywacja genów, naprawa DNA, produkcja białek stresowych, detoksykacja rodników, aktywacja receptorów błonowych, rozmnażanie splenocytów i stymulacja systemu immunologicznego. U ssaków hormeza radiacyjna zwiększa reakcje obronne przeciw chorobom nowotworowym i zakaźnym, podwyższa długowieczność i poprawia płodność. Przykładem może być doświadczenie na myszach, gdzie częstość białeczek raków i mięsaków u zwierząt otrzymujących dawki promieniowania gamma cezu-137 od 2,5 do 20 mSv była niższa niż u nie napromieniowanych zwierząt kontrolnych. Liczba wszystkich nowotworów złośliwych u zwierząt otrzymujących dawkę 10 mSv była ponad 30% niższa niż u nie napromieniowanych. W kilku doświadczeniach, małe inicjujące dawki promieniowania poprawiały przeżywalność zwierząt, poddanych następnie napromieniowaniu dużymi dawkami, bliskimi śmiertelnym. W innych doświadczeniach stwierdzono, przedłużenie życia u zwierząt napromieniowanych dawkami od 250 do 3000 mSv.



Ryc 3. Obniżenie rozmnażania się pierwotniaków przy deficycie promieniowania. Rysunek przedstawia wpływ zastosowania osłon ołowianych na rozmnażanie się pantofelka, hodowanego w trzech identycznych komorach cieplarkowych. Dwie komory były osłonięte ołowiem: jedna osłoną o grubości 5 cm, a druga o grubości 10 cm. Nieosłonięte próbki kontrolne były eksponowane na promieniowanie naturalne odpowiadające dawce rocznej 1,75 mSv, a próbki osłonięte 10 cm ołowiu na promieniowanie odpowiadające dawce rocznej 0,3 mSv. Ósmego dnia rozmnażanie się pierwotniaków osłoniętych 5 cm ołowiu było o 40% niższe od rozmnażania się zwierząt nie osłoniętych 10 cm ołowiu o 60% niższe.

Tabela 5. Powstawanie nowotworów (w procentach) po jednorazowym napromienieniu trzymiesięcznych myszy promieniowaniem cezu-137. W nawiasach podano powstawanie białaczek oczekiwane zgodnie z hipotezą liniową.

Dawka mSv	Białaczki	Raki i mięsaki	Wszystkie nowotwory
0	20,93	16,3	33,19
2,5	18,18 (20,44)	14,04	28,51
5,0	15,48 (20,88)	8,79	23,01
10	15,04 (21,40)	8,94	21,95
20	13,82 (23,50)	14,29	26,27
40	26,57	16,08	39,16
60	44,68	14,36	55,32

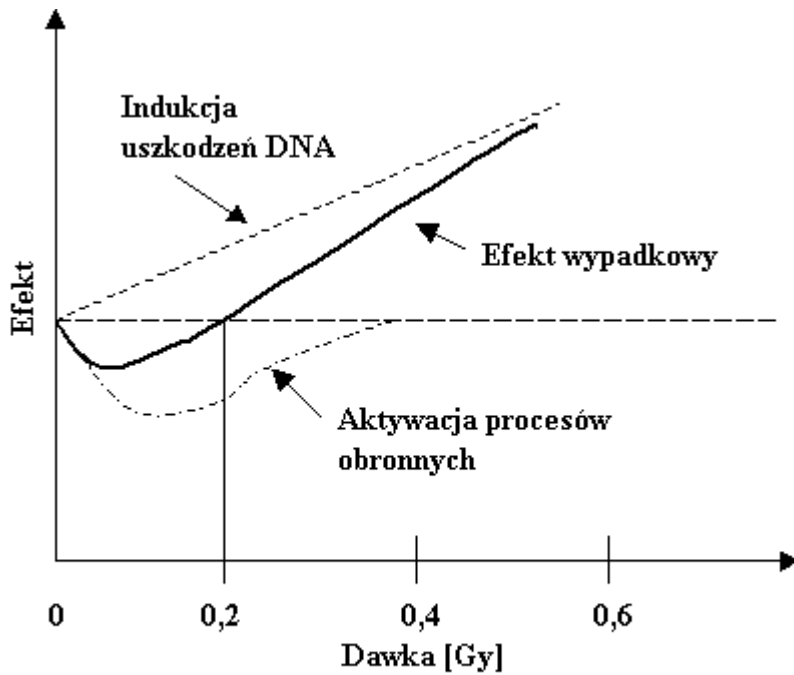
Wśród licznych publikacji interesująca jest grupa prac francuskich, zapoczątkowanych w latach sześćdziesiątych. Wskazują one, że u pierwotniaków i bakterii hodowanych przy sztucznie obniżonym poziomie promieniowania naturalnego, występują objawy niedoboru, wyrażone przez dramatyczne zmniejszenie rozmnażania. Wskazuje to, że promieniowanie jonizujące może być niezbędne dla życia. Należało tego oczekiwać. Organizmy żywe rozwinęły się bowiem w warunkach stałej ekspozycji na promieniowanie jonizujące., które we wczesnych okresach geologicznych było wyższe niż obecnie. Pierwotnie organizmy, aby przeżyć musiały rozwinąć mechanizmy obronne przeciw szkodliwym skutkom promieniowania, ale prawdopodobnie również zaczęły wykorzystywać radiację dla swego dobra. Podobnie w pewnym momencie rośliny nauczyły się wykorzystywać zabójcze promieniowanie ultrafioletowe w procesie fotosyntezy, która stała się podwaliną życia większości form współczesnych. Najbardziej interesujące są wyniki badań populacji ludzkich. Istnieją prace, w których padają stwierdzenia, że pośród ludzi, którzy przeżyli ataki jądrowe w Hiroszynie i Nagasaki i otrzymali dawki promieniowania niższe od 200 mSv. (tj do 200 razy wyższe niż limit roczny zalecany dla ludności), nie występuje wzrost ogólnej śmiertelności. Śmiertelność z powodu białaczek w tej populacji była przy dawkach większych od 100 mSv, niższa niż wśród nie napromienionych mieszkańców tych miast. Jedno z najlepszych badań radioepidemiologicznych w zakresie małych dawek zostało przeprowadzone w Chinach. Pomiedzy rokiem 1970 a 1986, 74 000 osób w okręgu Yangijang o wyższym poziomie radiacji naturalnej (5,5 mSv/rok), porównano z populacją 77 000 osób z dwóch sąsiednich okręgów o niskim promieniowaniu (Enping i Taishan 2,1 mSv/rok). W okręgu Yangijang mieszkańcy otrzymali siedemdziesięcioletnią dawkę życiową równą 385 mSv, a więc nieco wyższą niż poziom interwencyjny przyjęty dla ewakuacji z rejonu Czarnobyla. Czy może rząd chiński powinien pójść przykładem Sowietów i ewakuować okręg Yangijang? Dane epidemiologiczne wskazują, że nie ma powodu do takiej akcji. W grupie wieku 10 do 79 lat ogólna śmiertelność nowotworowa (bez białaczek) była 14,6% niższa w okręgu o podwyższonym promieniowaniu niż w okręgach o niższej radiacji. Wśród mężczyzn śmiertelność z powodu białaczek była w okręgu Yangijang o 15% a wśród kobiet o 60% niższa niż w okręgach Enping i Taishan. UNSCEAR w swoich raportach omawiał też badania epidemiologiczne przeprowadzone na kilku grupach osób zawodowo narażonych na promieniowanie. Dla przykładu poniżej przedstawiono dane dotyczące 13 491 pracowników Kanadyjskich Zakładów Energii Atomowej. Wśród osób narażonych średnia dawka promieniowania wynosiła 49 mSv u mężczyzn i 5,5 mSv u kobiet. Jak wynika z tabeli 6 – śmiertelność z powodu białaczek stanowiła wśród osób narażonych na promieniowanie tylko 32% śmiertelności z tego powodu w ogólnej populacji Kanady. Śmiertelność z powodu wszystkich nowotworowych i nienowotworowych schorzeń była wśród pracowników niższa niż w populacji ogólnej.

Tabela 6. Standardowy współczynnik umieralności (SWU) dla białaczek wśród 9997 mężczyzn zatrudnionych w Kanadyjskich Zakładów Energii Atomowej. R/O oznacza stosunek zgonów rejestrowanych do oczekiwanych zgodnie z częstością występującą w ogólnej populacji Kanady.

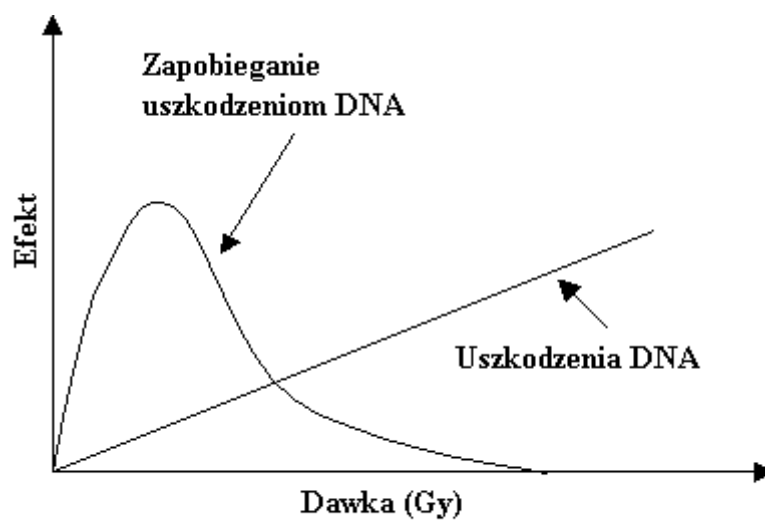
Przyczyna zgonu	Nienapromienieni		Napromienieni	
	SWU	R/O	SWU	R/O
Białaczka limfotyczna	2,25	2/0,85	-	0/2,40
Białaczka szpikowa	1,47	2/1,36	0,57	2/3,50
Inne białaczki	0,72	1/1,40	0,28	1/3,59
Wszystkie białaczki	1,37	5/3,64	0,32	9,50

Istnieje wiele danych na temat hormezy pochodzących z byłego Związku Sowieckiego. We wrześniu 1957r. w wyniku eksplozji chemicznej w wojskowej fabryce materiałów do bomb jądrowych, mieszkańcy 22 wiosek we Wschodnim Uralu zostali napromienieni dawkami sięgającymi 1500 mSv. Ewakuowano wtedy około 10 000 osób, których losy śledzono przez następne 30 lat. Okazało się, że w grupie tych, którzy otrzymali średnią dawkę wysokości 496 mSv, śmiertelność nowotworowa była o 28% niższa niż u nie napromienionej populacji tego samego regionu, przy średniej dawce 129 mSv o 39% niższa a przy dawce 40 mSv o 27% niższa. Większość badań epidemiologicznych nad zależnością występowania raka płuc i poziomem radonu w mieszkaniach jest niezgodna z hipotezą liniową i może sugerować występowania efektu hormetycznego. Spośród wielu badań omawianych przez UNSCEAR – tylko 8 badań wskazywało na wzrost śmiertelności lub zachorowalności na raka płuc w populacjach narażonych na wyższy poziom radonu w mieszkaniach, a 11 badań wykazywało niższą śmiertelność lub zachorowalność, lub brak zależności między rakiem płuc i poziomem radonu. W stanach Zjednoczonych badanie obejmujące 89% populacji wykazało, że wśród ludzi żyjących w domach o wyższej niż przeciętna koncentracji radonu i powietrza śmiertelność z powodu raka płuc była poniżej przeciętnej. W Chinach mierzono przez jeden rok poziom radonu w domach kilkuset kobiet z rakiem płuc oraz w domach podobnej liczby kobiet zdrowych. Wyniki wskazują (z 95% poziomem ufności), że kobiety, które mieszkały w domach o wyższym poziomie radonu (ponad 350 Bq/m³) miały o 30% niższe ryzyko zachorowania na raka płuc niż mieszkanki domów o niskim poziomie radonu (4-70 Bq/m³). Jest to wynik przeciwny do przewidywanego na podstawie hipotezy liniowej, zgodnie z którą ryzyko raka płuc winno być 80% większe w domach o wyższym poziomie radonu. Podobny brak pozytywnej korelacji pomiędzy rakiem i poziomem radonu w mieszkaniach znaleziono w badaniach przeprowadzonych w Japonii, Kanadzie, Szwecji, Danii, Finlandii, Francji i Wielkiej Brytanii. Raport Francuskiej Akademii Nauk i Narodowej Akademii Medycznej w pełni potwierdza taki sposób widzenia działania naszych organizmów w obliczu zagrożenia promieniowaniem jonizującym. Raport wykorzystuje dostępne dane z zakresu działania komórki, a także wyniki badań na zwierzętach. Istnienie efektów hormetycznych dzięki mobilizacji organizmu do likwidacji uszkodzeń komórkowych (niekoniecznie zresztą spowodowanych promieniowaniem jonizującym) potwierdzają również prowadzone, jak dotąd eksperymentalnie, terapie raka przy wykorzystaniu małych dawek promieniowania jonizującego na całe ciało lub na pół ciała. Przeżywalność pacjentów w zaawansowanym stadium białaczki wynosiła po czterech latach od terapii małymi dawkami na całe ciało 74% ,

podczas gdy pacjenci poddani jedynie chemioterapii przeżywali w 52%. Jeszcze lepsze wyniki uzyskali w leczeniu białaczki Sakamoto i in., którzy oprócz chemioterapii stosowali naświetlania całego lub połowy ciała małymi dawkami. Po dziewięciu latach przeżywalność ich pacjentów była na poziomie 84% i nie wykazywała tendencji malejącej, podczas, gdy wynosiła ona tylko 50% u pacjentów nie poddanych działaniu małych dawek. Podobny wynik, tyle że na poziomie komórkowym, pokazujący, że wstępne naświetlanie małymi dawkami może uodpornić system na późniejsze działanie dużych dawek, został pokazany w pracy. Ważnym wnioskiem z prac idących w tym kierunku jest, że układy zapobiegania i reperacji uszkodzeń, uruchomione w wyniku działania małych dawek, przeciwdziałają wywołaniu i propagowaniu się uszkodzeń nie wywołanych promieniowaniem.



Rys.5



Rys.4

Przedstawiony wyżej opis problemu hormezy jest zaledwie „liźnięciem” tematu – w cytowanych pracach można znaleźć olbrzymią liczbę odniesień do oryginalnych badań, które wskazują, że hormeza, w tym hormeza radiacyjna jest zjawiskiem powszechnym. Jest rzeczą oczywistą, że pomijanie tego faktu musi prowadzić do nadmiernych kosztów ochrony, która de facto może być nawet częściowo szkodliwa. Jak wielkie są to koszty w wypadku promieniowania jonizującego można przeczytać w pracy a także w eseju Inhabera. Są to, jak wspomniałem, sumy ogromne. Mimo argumentów opartych na rzetelnych badaniach naukowych, świat wciąż wydaje się nie gotowy na przyjęcie do wiadomości, że obecne normy ochrony są z reguły przesadzone. Powodują one wysokie koszty, które są niczym nie uzasadnionym trwonieniem środków, które przydałyby się na profilaktykę i leczenie rzeczywistych, a nie hipotetycznych przypadków. Nie bez znaczenia jest też fakt, że błędne przekonanie, że nawet minimalne dawki mogą wywołać negatywne skutki, wyzwalają w społeczeństwach strach, który może prowadzić do zaburzeń chorobowych, czego jesteśmy świadkami m.in. na Ukrainie i Białorusi, gdzie milion albo dwa miliony osób choruje na choroby o podłożu psycho-somatycznym w wyniku stresu poczarnobylskiego. Strach przed rzekomymi ujemnymi skutkami promieniowania prowadzi do błędnych decyzji, jak np. do powstrzymywania się od badań profilaktycznych w medycynie czy do niechęci nie tylko do planów budowy elektrowni jądrowych, ale nawet do rzetelnego zapoznania się z wiedzą niezbędną do wyrobienia sobie zrównoważonego zdania na ten temat. Niestety, wciąż istnieją silne grupy nacisku wykorzystujące obawy społeczeństwa do swoich celów. Straszyc jest łatwiej niż wyjaśniać - strach jest medialny, można na nim zarobić, a przede wszystkim z reguły przeważa nad rozsądkiem. Zdobycie wiedzy wymaga natomiast sporego wysiłku i dlatego mam raczej nikłą nadzieję na jakąś znaczącą poprawę sytuacji w tej materii. Hipoteza LNT, czyli Linear - No - Threshold (model liniowy bezprogowy) powstała w oparciu o wieloletnie badania epidemiologiczne, przeprowadzane w populacji narażonej na przyjęcie wysokich dawek promieniowania z różnych źródeł. LNT jest zatem owocem historycznych rozważań na temat wykorzystania między innymi broni nuklearnej. Model ten nie opiera się jednak tylko na doświadczeniach wojennych i eksperymentach z użyciem wysokich dawek. Dopuszcza także możliwość negatywnego wpływu nawet małych dawek na ustrój ludzki. Dzisiejsi zwolennicy LNT stwierdzają jednoznacznie, że nawet przed małymi ilościami promieniowania należy się bezwzględnie chronić. Nie można pozostawić ich bez racji, jako że o szkodliwym wpływie omawianego czynnika przekonali się ludzie, uczestniczący bezpośrednio dokonywaniu odkryć i tworzeniu wynalazków opartych o użycie materiałów promieniotwórczych. Za przykład niech posłuży nam współpracownik Thomasa Edisona, Clarence Dally, który aktywnie uczestniczył w tworzeniu fluoroskopu. Zmarł on na raka w wyniku nadmiernego napromieniowania niedługo po tym, jak amputowano mu kończynę górną, poparzone przez promieniowanie. Podobnie działo się w świecie artystycznym, a konkretnie malarskim. W latach dwudziestych minionego wieku malarze często używali farb zawierających rad, które charakteryzowała wysoka skuteczność w obrazowaniu szczegółów. Badania przeprowadzone na pewnej młodej malarce potwierdziły promieniotwórczy charakter radu. Krótco po tym, badania przeprowadzono w innych grupach zawodowych mających styczność z tym pierwiastkiem. Odkryto, że wśród ludzi obcuujących z nim częściej występują nowotwory, szczególnie kości. Niepodobna nie zauważyć, jak trudne jest jednoznaczne określenie charakteru hormezy i LNT. Żadnej z nich nie można nazwać „faktem”, a jedynie hipotezą, teorią, modelem, koncepcją. Dzieje się tak, gdyż tak naprawdę żadna nie została do końca wyjaśniona i dowiedziona. Obie mają słabe i mocne strony, które powodują, że są zarówno zasadne, jak i wątpliwe. Obecnie nauka składa się ku Hormezie Radiacyjnej jako tej, na której słuszność wskazują badania nad komórką i jej odpornością. Niemniej jednak i wobec niej zachodzą pewne wątpliwości. Na przykład: zwolennicy hormezy podają, że mieszkańcy terenów wysokogórskich rzadziej cierpią na nowotwory skóry. Powód? Ciągła

ekspozycja na promieniowania ultrafioletowe. Można by uznać to za oczywiste i zasadne, gdyby nie złożoność procesu powstawania nowotworu i fakt wpływu wielu czynników na jego wystąpienie, w tym predyspozycji genetycznych. Widać jednak, że tym ludziom promienie słoneczne zdecydowanie nie szkoda, co stanowi pewien element potwierdzający słuszność hormezy. LNT natomiast zakłada, że żadna taka sytuacja wydarzyć się nie może, czyli teoretycznie osoby, które przez zdecydowaną większość swojego życia zamieszkują na terenach położonych w wysokich górach i w związku z tym są narażone na szkodliwe działania ultrafioletu, powinny charakteryzować się wysokim odsetkiem zachorowań na raka skóry, a przecież - jak widać - tak nie jest. Istnieje zasadnicza wada LNT: jej zasadniczość właśnie. Jako model czy teoria nie dopuszcza ona pewnej omylności, z którą godzi się hormeza i czego niepodobna nie zauważyć. Według gorących zwolenników liniowej bezprogowej, nawet zdjęcia rentgenowskie, których znikomą szkodliwość udowodniono już dawno, nie tylko mogą być dalece kancerogenne i szkodliwe, ale wręcz są, co w świetle dzisiejszych badań wydaje się wręcz śmieszne. Badaniem popisowym, które miało na celu obalenie podstawowych założeń Hormezy Radiacyjnej, miało być badanie wskaźnika zachorowań na nowotwory w Hiroshimie i Nagasaki, co okazało się ostatecznie słabą stroną LNT.

5. Aspekty etyczne i ekonomiczne.

Wykorzystywanie liniowej bezprogowej zależności dawka-skutek do kalkulacji takich jak obliczanie liczby czarnobylskich zgonów w Ameryce jako „głęboko niemoralne” wykorzystanie naszego dziedzictwa naukowego”. Jaka jest odpowiedzialność ludzi donoszących o setkach tysięcy imaginacyjnych zgonów czarnobylskich czy dziennikarzy publikujących zdjęcia i przedstawiających w telewizji wielu krajów film z dziećmi z Kijowa bez włosów i ich rozpaczające matki, rzekome ofiary napromienienia czarnobylskiego? W rzeczywistości była to dobrze znana grzybica strzygąca powierzchniowa, pojawiająca się okresowo u dzieci w wieku szkolnym żyjących w złych warunkach higienicznych i ulegająca samowyleczeniu w okresie dojrzewania. Dawka promieniowania, po której wypadają włosy wynosi ponad 1000 mSv. Dawka otrzymana w 1986r. przez mieszkańców Kijowa wynosiła 4 do 7 mSv. Prasę polską i światową obiegły zdjęcia wykonane przez polskiego reportera przedstawiające dzieci z Ukrainy z zajęczą wargą, zaburzeniami rozwojowymi kończyn i wrodzoną ślepotą. Sprzedano je opinii świata jako skutki Czarnobyla. Wielokrotnie pokazywano również dzieci leczone na białaczkę. W normalnej populacji pojawia się stale około 6% ciężkich zaburzeń genetycznych, w tym na zajęczą wargę przypada 0,14%, na anomalie szkieletu 0,21%, a na anomalie oczy przypada 0,032%. W każdym większym ośrodku szpitalnym na świecie znajdują się dzieci z takimi zaburzeniami genetycznymi. Zgodnie z hipotezą liniową napromienienie ludności Kijowa dawką 10 mSv mogłoby zwiększyć np. liczbę rodzących się tam dzieci z anomaliami szkieletu zaledwie 0,0004%, a więc niezauważalny ułamek. Po takiej dawce promieniowania moglibyśmy jednak równie dobrze oczekiwać efektów hormetycznych, a więc obniżania się o nieco większy ułamek występowania tej anomalii. Koszt hipotetycznego ocalenia jednego życia ludzkiego przez obniżenie poziomu radonu-222 w mieszkaniach do 70 Bq/m³ wyniosła około 2 mln dolarów. Koszt hipotetycznego ocalenia jednego życia ludzkiego przez wprowadzenie do amerykańskiego systemu energetyki jądrowej zaleceń Amerykańskiej Komisji Zarządzeń Nuklearnych (opartych na hipotezie liniowej) wyniosła 2 500 000 000 dolarów...W tym przypadku uratowanie życia jest imaginacyjne, lecz tak wielkie sumy zostały wydatkowane rzeczywiście. Natomiast koszt naprawę ratujących życie szczepień ochronnych przeciw

dyfterii, ksztuścowi i odrze w krajach rozwijających się wynosił od 50 do 100 dolarów na uratowaną osobę. Akcją tych szczepień cierpią na chroniczny brak środków. Jest coś głęboko niemoralnego w tego rodzaju ekonomii ochrony zdrowia. Oficjalne uznanie istnienia zjawiska hormezy radiacyjnej przez UNSCEAR, najwyższy autorytet międzynarodowy w zakresie promieniowania jonizującego, jest pierwszym krokiem w stronę rewizji obecnych założeń ochrony ludności przed małymi dawkami promieniowania. Nie sądzę jednak, aby sposób myślenia i podejścia zmienił się diametralnie szybko.

6. Wnioski.

Jesteśmy jeszcze dalecy od pełnego zrozumienia mechanizmów hormezy radiacyjnej. Wielu badaczy skłania się obecnie do przypuszczenia, że głównym jej mechanizmem jest stymulacja małymi dawkami procesów naprawy DNA w komórkach, co w efekcie zmniejsza szansę powstania nowotworów. Innymi mechanizmami na poziomie systemów kontroli komórkowej są: synteza białek, aktywacja genów, produkcja białek stresowych, detoksykacja rodników, aktywacja receptorów błonowych, namnażanie splenocytów i stymulacja układu odpornościowego. Znacznie więcej informacji dają badania eksperymentalne i epidemiologiczne, potwierdzające samo istnienie dobroczynnego wpływu małych dawek promieniowania. W dalszej - czasowej perspektywie można oczekiwać stopniowego zanikania powszechnie panujących przesadnych lęków przed radiacją i energetyką jądrową. Długo też trwało, nim nasi przodkowie przekonali się, że ogień to nie tylko ból i śmierć, lecz nade wszystko ciepło, światło i przetrwanie. Mimo poziomu, na jakim znajduje się obecna nauka i wiedza współczesnych badaczy, niezwykle trudno udowodnić słuszność niektórych teorii tak, by ich założenia nie pozostawiały cienia wątpliwości. Wnioskiem płynącym z powyższych rozważań jest niestety tylko to, że z niczym nie należy przesadzać i że wszystko ma swoje wady i zalety. Nie jest to niczym odkrywczym i na pewno nie zaspokoi naukowego apetytu Czytelnika, ale być może zachęci do zgłębiania wiedzy na temat jednych z najbardziej kontrowersyjnych koncepcji XXI wieku.

BIBLIOGRAFIA

1. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, Raport Komitetu Naukowego Narodów Zjednoczonych ds Skutków Promieniowania Atomowego - UNSCEAR , United Nations (1994)
2. Z.Jaworowski, „Radiation Risk and ethics”, *Physics Today* 52(9) (1999) 24-29
3. L.Dobrzyński, „Biologiczne skutki promieniowania jonizującego”, *Postępy Techniki Jądrowej* 44 (2001) 14-29
4. Z.Jaworowski, „Dobroczynne promieniowanie” *WIEDZA I ŻYCIE* 1997/3 20-29
5. Jaworowski Z.- Beneficial radiation, *Wiadomości Chemiczne*,1996 (50) 11-12, 759-878
6. Z. Kazimierczuk, *Wszechwiedzące izotopy*, wyd. "ALFA", W-wa, 1985,
7. B. Dziunikowski, *Zastosowania izotopów promieniotwórczych*, Część I i Część II, Wyd. AGH 1995, 1998