

Międzynarodowy zespół naukowców zaangażowanych na rzecz publicznego zrozumienia promieniowania jonizującego (Scientists for the Public Understanding of Radiation, SPUR)[§] publikuje oparty na prostych, zdroworozsądkowych argumentach apel o rozwianie mitów i obaw narosłych wokół takiego promieniowania. Apel sugeruje głębokie przeorientowanie nastawienia społeczeństw na całym świecie do promieniowania.

Promieniowanie jonizujące – wróg czy przyjaciel?

Brak zagrożeń od niskich dawek przy jednoczesnych korzyściach usprawiedliwia szerszą akceptację promieniowania jonizującego w ochronie zdrowia i zapewnianiu dobrobytu ekonomicznego

Streszczenie

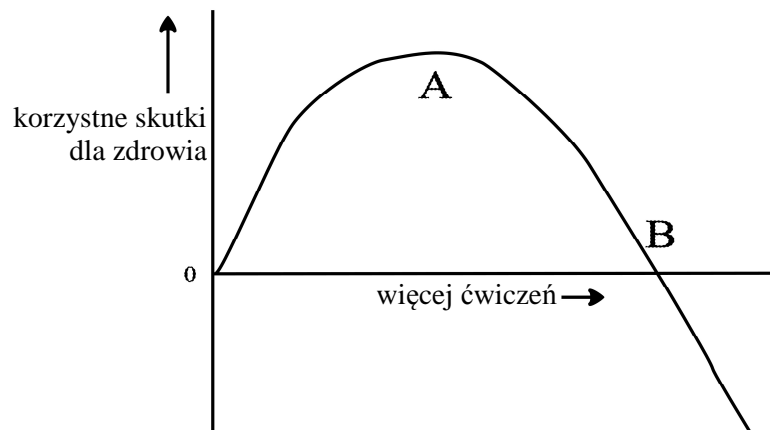
Zdrowie i ekonomiczny dobrobyt ludzkości zależą od zastosowania osiągnięć naukowych w medycynie i przemyśle. Osiągnięcia fizyki atomowej (zajmującej się zewnętrznymi powłokami elektronowymi) są dobrze ugruntowane i szeroko akceptowane. Natomiast osiągnięcia fizyki zajmującej się wewnętrznymi częściami atomów tj. fizyki jądrowej wzbudziły wiele obaw wśród społeczeństw i politycznej niechęci do zastosowania ich w energetyce, choć znacznie mniej jeśli chodzi o ochronę zdrowia, będącą np. całym dziedzictwem Marii Curie-Skłodowskiej. Przyczyny takiego stanu rzeczy mają korzenie historyczne i kulturowe, lecz żadnego uzasadnienia naukowego. Podobne nieporozumienia szerzą się bardzo łatwo w codziennym życiu. Trzeba sobie jednak uświadomić, że perspektywy rozwoju zapewniającego dobrobyt ekonomiczny przy zrównoważonym wykorzystaniu zasobów naturalnych krytycznie zależą od przewyciężenia tych obaw, co wymaga z jednej strony szeroko zakrojonych działań edukacyjnych, zaś z drugiej – większego zaufania społeczeństw do naukowców. Tylko w takich warunkach znane korzyści oferowane przez technologie jądrowe (zapewnienie dostaw energii i wody pitnej, przechowywanie żywności, lepsza opieka zdrowotna) będą mogły być szeroko akceptowane i osiągnane.

Oddziaływania zdrowotne

Popularne powiedzenie głosi że łatwo można przedobrzyć. Właśnie tak można by opisać wpływ większości czynników oddziałujących na zdrowie człowieka, poczynając od zwykłej wody czy aspiryny. W odpowiedniej ilości przyniosą skutki dobroczynne lub istotne, natomiast w dawkach za dużych nie działają albo wręcz są szkodliwe. Ta zasada odnosi się także do ćwiczeń fizycznych; trochę może być o wiele lepsze niż nic, choć nadmiar może szkodzić. Typowa zależność korzyści zdrowotnych od ilości zaaplikowanych ćwiczeń wygląda podobnie do krzywej pokazanej na rys. 1.

[§] Wade Allison, fizyk, Uniwersytet Oxfordzki, Oxford, Wlk. Brytania w.allison@physics.ox.ac.uk
Mohan Doss, radiolog, szpital onkologiczny Fox Chase, Pensylwania, USA mohan.doss@fcc.edu
Ludwik Dobrzyński, fizyk, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Świerk, Polska ludwik.dobrzynski@ncbj.gov.pl
Ludwig Feinendegen, specjalista w dziedzinie medycyny nuklearnej, Uniwersytet Heinricha-Heinego w Düsseldorfie, Niemcy feinendegen@gmx.net

Uwaga: Wyrażone tu opinie odzwierciedlają poglądy autorów niekoniecznie zgodne z oficjalnym stanowiskiem jakiegokolwiek organizacji.



Rys.1 Korzystne i niekorzystne skutki ćwiczeń fizycznych dla zdrowia

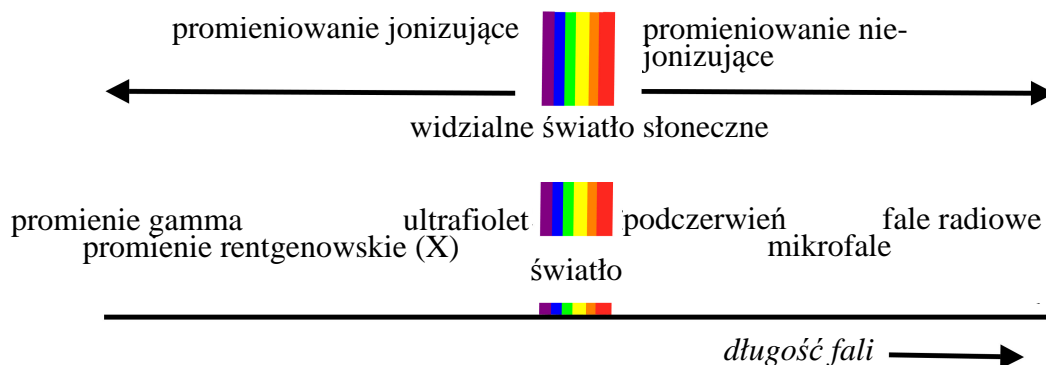
Najbardziej korzystna dawka ćwiczeń fizycznych odpowiada punktowi A, natomiast ćwiczenia w dawkach przekraczających odciętą punktu B będą szkodliwie. Ta idea została opisana pięć wieków temu przez Paracelsusa (1493-1541), lekarza i botanika, który napisał „Omnia sunt venena, nihil est sine veneno. Solo dosis facit venenum” czyli „Wszystko jest trucizną, nic nie jest trucizną. Wszystko zależy od dawki.” Taką zależność ochrzczono mianem *dwufazowej*: w określonym zakresie dawek jakiś czynnik może być korzystny, podczas gdy w innym – szkodliwy.

Doświadczenie podpowiada, że powyższa krzywa nie sprawdza się w wielu sytuacjach. Na przykład w kilka godzin po zaspokojeniu pragnienia znowu będziemy mieli ochotę czegoś się napić. Podobnie lekarstwa powinny być zażywane regularnie co jakiś czas przepisany przez lekarza. Ten „jakiś czas” może być potrzebny na dostosowanie się organizmu, albo po „jakimś czasie” zaaplikowany lek zostanie wydalony i trzeba będzie odnowić jego poziom w organizmie. Także ćwiczenia fizyczne korzystnie byłoby regularnie powtarzać i nie ma tu znaczenia, że dawka ćwiczeń zakumulowana przez wiele dni prawdopodobnie znacznie przekroczy dawkę zalecaną dla jednego dnia. Jeśli wchodzący w grę czas nie zostanie stosownie wzięty pod uwagę, opis zjawiska krzywą pokazaną na rys. 1 może okazać się zwodniczy.

Jest jeszcze coś, co wiąże się z czasem. W miarę upływu kolejnych dni organizm ćwiczącego może stawać się coraz sprawniejszy i nie wykluczone, że w kolejnych dniach zniósłby bez szkody ani nadmiernego wyczerpania większą dawkę jednorazowych ćwiczeń niż pierwszego dnia. Na krzywej zależności korzyści od dawki należałoby to wyrazić przesuwając punkty A i B w prawo. Taki proces – zwany adaptacją – jest dobrze każdemu znany z codziennego życia i jego zrozumienie nie wymaga żadnej matematyki ani innej nauki, choć biolodzy zapewne studiują mechanizmy odpowiedzialne za nasze zdolności adaptacyjne. Można zadać dość istotne pytanie: jak długo po ustaniu ćwiczeń działa adaptacja organizmu? Skuteczność ćwiczeń fizycznych dla stanu zdrowia jest dobrze znana¹.

Oczywiście nie powinniśmy bez dowodu zakładać, że reakcja na każdy czynnik przebiega podobnie. Niemniej w biologii można wskazać wiele przykładów potwierdzających, że ewolucja faworyzuje organizmy dostosowujące się do niewielkich zmian warunków, czyli adaptujące się. (Taka adaptacja nie jest też niczym niezwykłym w praktyce inżynierskiej jako że konstruktorzy starają się jak najlepiej dostosowywać swoje konstrukcje do zmiennych wymagań rynku; burzliwy rozwój elektroniki użytkowej w ostatnich dekadach jest chyba najlepszym przykładem). W szczególności ewolucja ukształtowała zdolność wszystkich organizmów do życia w strumieniach promieniowania słonecznego. Poniżej pokazano schematycznie gdzie na skali długości fal mieści się promieniowa-

nie widzialne, reprezentowane na ilustracji przez tęczę. Bezpośrednio z lewej strony (krótsze fale, wyższe energie) rozciąga się ultrafiolet (UV), bezpośrednio z prawej strony (dłuższe fale, niższe energie) – podczerwień (IR).



Rys.2 Najważniejsze zakresy w widmie promieniowania

Wpływ podczerwieni na tkanki polega głównie na ich grzaniu. Grzanie jest nieszkodliwe dopóki nie podniesie temperatury do punktu powstawania bolesnych oparzeń. Z prawej strony światła widzialnego na powyższej ilustracji występują ponadto mikrofałe i fale radiowe, które w niezbyt dużych dawkach są uważane za nieszkodliwe dla żywych organizmów. Natomiast ultrafiolet może rozrywać wiązania chemiczne, a dzieje się to bez żadnych objawów takich jak uczucie ciepła czy ból. W istocie promieniowanie wszystkich rodzajów pokazanych na powyższej ilustracji z lewej strony światła widzialnego (czyli ultrafiolet, promienie rentgenowskie i promienie gamma) może jonizować i w konsekwencji uszkadzać molekuly oraz produkować utleniacze podobne do tych wytwarzanych w normalnych procesach metabolicznych². Żywe organizmy są szczególnie wrażliwe na uszkodzenia molekuł DNA kontrolujących mechanizmy komórkowe. W ciągu doby od silnego napromieniowania ultrafioletem śmierć wielu komórek ujawnia się jako oparzenie (co bywa bolesne, choć bardzo rzadko prowadzi do zgonu). Jednak dużo później, nawet po kilku latach, osoba oparzona ultrafioletem może zachorować na raka skóry, który – jeśli nie leczony – może być śmiertelny. Rak jest późnym skutkiem niecałkowitego pozbycia się przez system immunologiczny organizmu komórek, w których DNA uległo uszkodzeniom popromiennym zbyt małym aby komórka umarła (tzw. komórkom zmutowanym). Wg statystyk śmiertelności w 2009 r. ok. 9200 osób zmarło w USA na raka skóry³. Z drugiej strony ekspozycja skóry na promieniowanie ultrafioletowe jest ważnym czynnikiem warunkującym produkcję w organizmie witaminy D niezbędnej aby nie zapaść na krzywicę. Tak więc typowa krzywa dwufazowa dobrze opisuje zależność korzyści/zagrożeń od stopnia ekspozycji na ultrafiolet. Umiarkowane opalanie się należy do uznanych przyjemności życia. Zwróćmy uwagę, że ludzie nie spędzają wakacji wyłącznie w świetle gwiazd lub ukryci gdzieś głęboko pod ziemią tylko po to, aby uniknąć ultrafioletu i związanego z tym narażenia na raka. Do rozważania takich zagrożeń nie powołano całego wachlarza międzynarodowych komitetów⁴ – za wystarczające działanie uznano edukację i społeczną presję lekarzy/aptekarzy aby nie opalać się nadmiernie (zwłaszcza na początku wakacji) i stosować filtry. Po kilku pierwszych dniach opalania się organizm adaptuje się i ekspozycja może zostać zwiększona bez proporcjonalnie zwiększonego ryzyka; zjawisko to jest podobne do polepszenia kondycji w wyniku odbycia przez osobę nietrenującą kilku pierwszych sesji ćwiczeń fizycznych. W sumie społeczeństwo uświadomiło sobie zagrożenia płynące z opalania się bez przesadnej wrzawy wokół tej kwestii, bo też zagrożenia te są porównywalne z innymi, które musimy ponosić. Rocznie na każdy milion mieszkańców USA 30 osób umiera wskutek raka skóry, 110 ginie w wypadkach drogowych, 11 w pożarach. Dla poszczególnych osób to czy tamto zagrożenie okazało

się sprawą życia i śmierci, ale nikt przecież nie postuluje kształtowania polityki społecznej, ekonomicznej czy zdrowotnej całego kraju po to aby istotnie zmniejszyć powyższe wskaźniki (mimo iż nie są one pomijalnie małe).

Skutki promieniowania jonizującego a ochrona radiologiczna

Za wyjątkiem możliwości głębszej penetracji przez skórę do wnętrza organizmu, promieniowanie gamma i rentgenowskie działa podobnie jak ultrafiolet: też może zabić komórki (co objawia się śmiercią narządów wewnętrznych lub stanami zapalnymi) lub tylko je zmutować (z ryzykiem nowotworu). Molekuły mogą też być uszkodzane przez inne rodzaje promieniowania jonizującego, mianowicie cząstki alfa i beta o innej zdolności penetracji. Jednak skutki biologiczne wszelkich form promieniowania jonizującego są w istocie podobne – bezpośrednie lub pośrednie (poprzez wytwarzane utleniacze) uszkodzenia molekuł prowadzące do śmierci komórek, uszkodzenia DNA reperowane przez organizm bezbłędnie lub z błędami (mutacje), usuwanie uszkodzonych i/lub martwych komórek przez system immunologiczny. Zachodzi też adaptacja organizmów do wszelkich form promieniowania jonizującego oraz innych źródeł agresywnych utleniaczy⁵. Przeżycie organizmu w krótkim horyzoncie czasowym zależy od jego możliwości reprodukcji zabitych komórek, zaś w horyzoncie długim – od skuteczności kontroli namnażania się komórek zmutowanych (nowotworowych).

Cząstki alfa/beta i promienie gamma oraz X są emitowane przez niestabilne (radioaktywne) jądra atomów, z których znakomita większość występuje naturalnie (są starsze niż Ziemia). Te atomy i emitowane przez nie promieniowanie są badane od ponad stu lat i zostały dobrze poznane. W tym czasie znalazły zastosowania praktyczne, głównie w medycynie. Promienie Rentgena powszechnie używane w diagnostyce medycznej typowo deponują w organizmach badanych osób niewielkie dawki, ale podczas naświetlań terapeutycznych stosuje się dawki nawet 5000 razy większe (50 Gy) po to aby zabić komórki nowotworowe⁶. Co istotne, sesje radioterapii trwają po kilka (4-6) tygodni codziennych naświetlań – taki sposób dawkowania zwiększa możliwości organizmu zregenerowania zdrowych komórek, które stały się niepożądanymi ofiarami ataku wymierzonego w nowotwór. Codzienna dawka terapeutyczna ok.100 krotnie większa niż typowa dawka diagnostyczna niesie z sobą ryzyko wywołania po kilku latach wtórnych nowotworów. Jednak takie wtórne nowotwory często można skutecznie leczyć i w sumie ryzyko radioterapii okazuje się wystarczająco niską ceną za wyleczenie nowotworu pierwotnego, bezpośrednio zagrażającego życiu pacjenta. W ostatnim stuleciu takie leczenie rozpowszechniło się w szpitalach praktycznie całego świata. Informacja o wysokich dawkach promieniowania jonizującego stosowanych w radioterapii jest ogólnie dostępna w Internecie⁷, ale społeczeństwa są świadome pozytywnego bilansu korzyści wynikłych z zastosowania tak wysokich dawek. (Korzyści te niestety są ograniczone w późnych fazach rozwoju nowotworu, kiedy to wystąpiły już przerzuty i terapia spełnia w dużej mierze rolę już tylko paliatywną.)

Obecnie obowiązujące przepisy ochrony radiologicznej dotyczące ogółu populacji wymagają aby narażenie populacji utrzymywać na poziomie „tak niskim jak to rozsądnie osiągalne” (zasada ALARA, As Low As Reasonably Achievable). Zasada ta w praktyce prowadzi do narzucania limitów *wiele tysięcy* razy niższych niż dawki stosowane w radioterapii i *setki* razy niższych niż dawki otrzymywane ze źródeł naturalnych przez ludzi mieszkających w niektórych regionach świata, wśród których nie obserwuje się podwyższonego poziomu zachorowalności. Nauką podstawą sformułowania zasady ALARA była hipoteza, że narażenie jest proporcjonalne (bez żadnego progu) do dawki (tzw. hipoteza LNT od Linear No-Threshold). Hipoteza ta nie jest jednak poparta żadnymi uznanymi dowodami naukowymi ani nie odpowiada zdroworozsądkowym obserwacjom. Gdyby była ona prawdziwa, dwufazowa krzywa na rys. 1 powinna zostać zastąpiona skierowaną w dół linią prostą wychodzącą z początku układu. Linia taka wyrażałaby przypuszczenie że nie ma tak

małej dawki, która nie byłaby niebezpieczna, wszystkie uszkodzenia w materiale biologicznym akumulują się, nie działają mechanizmy naprawcze ani adaptacyjne. Przepuszczenie takie stoi w sprzeczności z tezami nowoczesnej biologii. Oparta na tej hipotezie międzynarodowa rekomendacja⁸ to polityczna spuścizna po czasach zimnej wojny, wynikała z poczucia zagrożenia zagładą nuklearną. Wciela ona raczej filozofię koncesji czynionych dla podniesienia poczucia bezpieczeństwa w społeczeństwach niż jest odpowiedzią na jakiegokolwiek dające się naukowo udowodnić zagrożenie. Krajowe przepisy ochrony radiologicznej z reguły oparto na tej rekomendacji z uzupełniającymi zaleceniami opracowanymi przez inne międzynarodowe komitety⁹.

Szkodliwe skutki tych przepisów wyraźnie widać na wielu przykładach w większości związanych z awariami elektrowni atomowych w Czarnobylu i Fukushima¹⁰.

- Pomimo faktu, że nikt nie zmarł wskutek promieniowania jonizującego uwolnionego po awarii elektrowni w Fukushima – w istocie nie zanotowano nawet żadnego przypadku choroby popromiennej – awaria ta została sklasyfikowana przez rząd japoński jako wypadek jądrowy 7-go stopnia w 7-stopniowej skali. Już dwa tygodnie po wypadku było jasne, że nie będzie ofiar¹¹, ale Międzynarodowa Organizacja Zdrowia (WHO) potrzebowała blisko dwóch lat aby to oficjalnie potwierdzić (i to z zastrzeżeniami¹²), mimo iż taka przesadna ostrożność, mówiąc oględnie, nie przyczyniła się do zahamowania strat społecznych i gospodarczych w samej Japonii i gdzie indziej.
- Potwierdzono ponad 1000 dodatkowych zgonów wynikłych z nadmiernych obaw przed promieniowaniem uwolnionym w wyniku awarii elektrowni w Fukushima (głównie chodzi o będące w podeszłym wieku ofiary zarządzanej ewakuacji^{13,14,15}). Takie ofiary poniesiono aby uniknąć potencjalnych skutków narażenia na promieniowanie jonizujące w dawkach stanowiących niewielki ułamek poziomów, przy których zapadalność na raka zaczyna być statystycznie widoczna. Oprócz tego pojawiły się różne inne symptomy ekstremalnego stresu któremu została poddana populacja: dodatkowe samobójstwa, przypadki wpadnięcia w chorobę alkoholową, rozpadów rodzin, nocnego moczenia się dzieci.
- 20 lat po awarii Czarnobylskiej stwierdzono, że główne konsekwencje dla zdrowia zaobserwowano w sferze psychicznej i że zostały one spowodowane przez zarządzoną ewakuację i napiętowanie mieszkańców jako “ofiary” cierpiących z powodu „klątwy” niewidzialnego promieniowania. Te ważne wnioski mogły zostać spożytkowane po awarii w Fukushima, lecz zostały zignorowane mimo iż zostały przedstawione w raportach o międzynarodowym zasięgu¹⁶.
- 4 kwietnia 2011 operator elektrowni w Fukushima (firma TEPCO) zrzucił 11 i pół tysiąca ton radioaktywnej wody do oceanu obwieszczając, że (i) radioaktywność tej wody 100 razy przekraczała poziom uznany przez przepisy za dopuszczalny (100 Bq na litr); (ii) woda ta nie zagrażała bezpieczeństwu radiologicznemu¹⁷. Ponieważ oba człony oświadczenia były zgodne z prawdą, oświadczenie podminowało publiczne zaufanie do przepisów. Proste wyliczenie pokazuje, że wypijanie po 1 litrze tej wody codziennie przez 3 miesiące naraziłoby osobę pijącą na dawkę mniej więcej równą tej otrzymywanej podczas dwóch tomograficznych badań komputerowych (CT).
- W lipcu 2011 rząd Japonii wydał rozporządzenie w sprawie maksymalnych dopuszczalnych poziomów radioaktywnych skażeń żywności¹⁸. Wg tych przepisów należałoby zjeść tonę maksymalnie skażonej żywności aby narazić się na dawkę mniej więcej równą tej otrzymywanej podczas jednego badania CT. To porównanie wykazuje absurdalną restrykcyjność tych przepisów. Później zostały one jeszcze zaostrzone o czynnik 5 w wyniku protestów społecznych. Analogiczne przepisy wprowadzone po Czarnobylu w Norwegii¹⁹ zostały po kilku miesiącach rozluźnione o czynnik 10.
- Liczba dodatkowych aborcji wynikłych ze strachu przed konsekwencjami Czarnobyla w samej Grecji jest szacowana na 2000²⁰.

- W marcu 2013 wszystkie elektrownie atomowe w Japonii za wyjątkiem dwóch pozostawały zamknięte, a wynikię z tego tytułu niedobory energii były wyrównywane dodatkowym importem i spalaniem paliw kopalnych. Rodzi to poważne konsekwencje dla gospodarki i środowiska w Japonii - przy brakach jakichkolwiek dających się naukowo wykazać korzyści wynikłych z zamknięcia. Także rządy m. in. Niemiec, Włoch i Szwajcarii podjęły podobne decyzje o wycofaniu się (w różnych skalach czasowych) z energetyki atomowej. Bardzo prawdopodobne, że ze względu na gospodarcze i klimatyczne skutki tych decyzji przyszłe pokolenia ocenią je kiedyś jako reakcje lekkomyślnie nazbyt ostre.
- W 2011 r. niepokój w Japonii wzbudzało skażenie wody cezem-137 na poziomie kilkuset Bq na litr. Dla porównania: w 1987 r. dzieci znalazły źródło ^{137}Cs o aktywności 50 TBq (50 tysięcy miliardów Bq) wyrzucone na wysypisku śmieci w miejscowości Goiania w Brazylii. Przyciągnięte przez bijącą od niego niebieskawą poświatę bawiły się nim przez dwa tygodnie. W ciągu kilku tygodni czworo dzieci zmarło, poparzenia radiacyjne wymagały zabiegów chirurgicznych u 28 z nich. Wśród 250 osób napromieniowanych rozwinął się jeden przypadek raka (został wyleczony). Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) w Wiedniu nie doniosła o żadnych dalszych ofiarach. Skumulowana dawka pochłonięta przez mieszkańca Japonii ze skażeń cezem 137 będzie ok. 1000 razy mniejsza.

Wybór pomiędzy strachem i badaniami, gdy napotykamy niebezpieczeństwo

Homo sapiens, który po raz pierwszy próbował posłużyć się ogniem, zapewne stwierdził, że jest coś niebezpiecznego: płomień łatwo przerzucały się na sąsiednie palne materiały i destrukcja łatwo się szerzyła. Zwierzęta uciekały od ognia, ale człowiek przezwyciężył strach i użył swego rozumu aby poznać to błogosławione niebezpieczeństwo. Można sobie tylko wyobrażać jak hałaśliwe musiały być kłótnie prowadzone w owych czasach między osobnikami nade wszystko bojącymi się ognia, a tymi którzy mimo strachu poważyli się na eksperymentowanie z nim. Stronnictwo zwalczających ogień miało wiele silnych argumentów przywołując przypadki zniszczeń niesionych przez pożary. W końcu jednak ludzie ci przegrali i wrócili do swych zimnych i wilgotnych jaskiń gdzie czekały na nich posiłki przyrządzone z surowych składników. To było ważne wydarzenie w dziejach człowieka, przecież bez ognia rozwój cywilizacji jest nie do pomyślenia – mimo towarzyszących zagrożeń. Obecne starcia zwolenników i przeciwników energii jądrowej różnią się w jednym ważkim aspekcie: wdrażaniu technologii jądrowych praktycznie nie towarzyszą żadne zagrożenia, przynajmniej w porównaniu do zagrożeń wynikających z pożarów i ruchu drogowego. To fakt, że w Fukushima zostały zniszczone reaktory jądrowe, ale uwolnione promieniowanie samo z siebie nie wyrządziło żadnych istotnych szkód zdrowotnych. Nawet kompletne zniszczenie reaktora w Czarnobylu pociągnęło za sobą śmierć od promieniowania mniej niż 50 osób. Zgony wynikłe z raków skóry wywołanych przez opalenie się są łatwo policzalne i jest ich znacznie więcej, ale wskaźniki te są ignorowane przez aktywistów ruchów antynuklearnych. Zgonów wynikłych z promieniowania jonizującego uwolnionego wskutek wypadków jądrowych obserwuje się bardzo mało, choć zdyskredytowana hipoteza LNT przewiduje znacznie większe liczby. Tak więc aktywiści ruchów „antyogniowych” w epoce kamiennej mieli silne argumenty, podczas gdy aktywiści obecnych ruchów antynuklearnych ich nie mają.

Przejdźmy do kwestii odpadów radioaktywnych i groźby ataków terrorystycznych z wykorzystaniem broni jądrowej. Te są na tyle niebezpieczne, na ile niebezpieczne jest samo promieniowanie jonizujące. Jeśli te ostatnie zagrożenia są przeszacowane, to przeszacowane są też i zagrożenia płynące z odpadów i ataków terrorystycznych. Natomiast społeczeństwu problemy odpadów i ataków terrorystycznych przedstawia się jako horror nie do ogarnięcia. Nie usprawiedliwiają tego żadne argumenty naukowe, to po prostu nieporozumienie. Problemem jest społeczna fobia granicząca z paniką. Odpady jądrowe – choć nie jest to rzecz piękna czy przyjemna – nie rozprzestrze-

niąją się i nie infekują jak pożary czy choroby zakaźne możliwe w razie rozwleczenia odpadów biologicznych. Ze względu na to że energia jądrowa jest tak silnie skoncentrowana, ilości paliwa zużywanego w elektrowniach atomowych – zatem i ilości wytwarzanych odpadów – są niewielkie, około milion razy mniej niż w przypadku konwencjonalnej energetyki opartej o paliwa kopalne. Odpady jądrowe trzeba schłodzić, przetworzyć (aby odzyskać wartościowe niewypalone paliwo jądrowe) i po kilku latach złożyć w podziemnych składowiskach – co nie jest zadaniem trudniejszym niż utylizacja wielu toksycznych odpadów chemicznych. Pamiętajmy przy tym, że toksyczność tych ostatnich nigdy nie minie, podczas gdy radioaktywność z czasem zaniknie. Nakłady niezbędne do utylizacji odpadów jądrowych i likwidacji wyeksploatowanych elektrowni atomowych powinny z czasem spadać. Mogą to być znaczne obniżki kosztów nawet biorąc pod uwagę odsetki od niemałych zainwestowanych kapitałów.

Zatem jakie winno być nasze nastawienie do technologii jądrowych? Pójście za aktywistami ruchów antynuklearnych oznacza zgodę na znaczne ograniczenie naszych perspektyw na planecie Ziemia niewiele ponad perspektywy zwierząt: znaczne ograniczenie liczby osobników i niski standard życia. Powinniśmy chyba chcieć więcej i słuchać rad Marii Skłodowskiej Curie, która pisała *“W życiu niczego nie należy się bezrozumnie obawiać, wszystko trzeba starać się zrozumieć”*. Powinniśmy badać nieznaną i stosować zdobytą wiedzę podobnie jak nasi przodkowie z epoki kamiennej oswojali ogień. Mimo że stali przed rzeczywistym dylematem, wydaje się że spisali się lepiej podejmując takie decyzje jakie podjęli niż wiele z rządów podejmując niedawno swe decyzje. Rządzący generalnie orientują się sprawach nauki niedostatecznie, choć przyszłość – tak jak zależała dotychczas – będzie zależeć od innowacji produkowanych w dużej mierze właśnie przez naukowców. Kraj, który jako pierwszy odłoży do lamusa model LNT i sięgnie po korzyści płynące z zastosowania technologii jądrowych przy znacznie obniżonych kosztach rozsądnej ochrony radiologicznej spije śmietankę dużych zysków i powinniśmy popierać takie inicjatywy. Poza produkcją elektryczności technologie jądrowe mogą zapewnić praktycznie nieograniczony dostęp do pitnej wody w miejscach gdzie jej brakuje (poprzez odsalanie wody morskiej), tanie przechowywanie żywności bez konieczności jej schładzania i liczne korzyści w medycynie. Świat potrzebuje tych możliwości zapewniających rozwój ekonomiczny i lepszą ochronę zdrowia, ale na przeszkodzie do osiągnięcia tych celów stoi filozofia ALARA oparta na hipotezie LNT. Wielki ekonomista XVIII w., Adam Smith, powiedział: *“Nauka to wspaniałe antidotum zarówno na szkodliwy hurra-entuzjazm, jak i na przesady”*. Fobia antynuklearna to właśnie taki przesąd i przyszedł czas na egzorcystów, którzy go wykorzeniają.

Jest jeszcze coś. Ponieważ uszkodzenia i reakcje komórkowe na ćwiczenia fizyczne, opalanie się i promieniowanie jonizujące są w istocie podobne², przez analogię można oczekiwać, iż niskie dawki mogą – znanymi mechanizmami adaptacyjnymi – zwiększać odporność organizmu na promieniowanie jonizujące; w istocie zostało to zaobserwowane²¹. Aby myśleć o przejściu do prób wykorzystania tego zjawiska w praktyce klinicznej potrzeba więcej badań. Naturalnie nieodzownym warunkiem byłoby też pełne zaufanie pacjentów, że niskie dawki nie szkodzą.

Jak zmierzać ku lepiej zrównoważonej przyszłości?

Tak jak i w przeszłości, ludzie muszą stale używać swej inteligencji dla zmaksymalizowania szans przeżycia w świecie różnorodnych zagrożeń. Kierunki działania, na które powinniśmy kierować swe wysiłki obejmują:

- Edukowanie społeczeństw i mediów aby uświadomić im, że w dzisiejszych czasach każdy odnosi korzyści z najróżniejszych zastosowań promieniowania jonizującego w medycynie, elektrowniach nieemitujących dwutlenku węgla, instalacjach odsalania wody morskiej, stacjach konserwacji żywności. Z punktu widzenia budowy społecznego zaufania najlepiej byłoby aby takie funkcje edukacyjne były spełniane nie przez agendy rządowe ani przemysł (który może być

posądzony o dbanie o własne interesy), lecz przez popularyzatorów ze środowisk medycznych bądź uniwersyteckich i/lub nauczycieli szkolnych, których trudno posadzać o lobbowanie w czyimś interesie.

- Bezzwłoczna budowa nowych elektrowni jądrowych wg sprawdzonych konstrukcji w celu zredukowania emisji dwutlenku węgla, włączając zamykanie wielkich elektrowni spalających paliwa kopalne lub biomasę.
- Rewizja międzynarodowych zaleceń dotyczących ochrony radiologicznej, mająca na celu zachęcenie krajowych prawodawców do zrównoważenia zagrożeń związanych z promieniowaniem jonizującym z innymi zagrożeniami dla społeczeństw i jednostek²². Przepisy krajowe winny odzwierciedlać fakt, że czasami lepiej ponieść określone ryzyko niż go nie ponosić, jak to się nagminnie dzieje w przypadkach podejmowania decyzji o radioterapii nowotworów. Podejmując decyzję o zarządzeniu ewakuacji po wypadku jądrowym w imię unikania promieniowania jonizującego trzeba też wziąć pod uwagę ryzyko dodatkowych zgonów spowodowanych tą ewakuacją. Podejmując decyzję o zarzuceniu planów rozwijania energetyki jądrowej i dalszej eksploatacji elektrowni konwencjonalnych spalających paliwa kopalne trzeba też wziąć pod uwagę środowiskowe skutki takiego spalania²³. Ryzyka powinny być wyważane podobnie jak w przypadku klasycznych zagrożeń przemysłowych, lecz niestety na razie tak się nie dzieje²². Jeśli poniżej jakichś dawek progowych nie można wykazać szkodliwych efektów radiobiologicznych, progi te winny zostać oficjalnie (w przepisach) uznane za bezpieczne i cała kwestia winna być wyjaśniona szerokiej publiczności. Wykazanie szkodliwego działania nie może polegać na prostej ekstrapolacji zgodnie z filozofią ALARA/LNT ani być motywowane np. chęcią zbitcia kapitału politycznego na publicznej fobii. Obecnie już wiemy, że dla jednorazowych dawek do około 100 mSv nie można wykazać żadnego istotnego zagrożenia¹⁰. Zachorowalność na nowotwory wśród mieszkańców terenów, na których promieniowanie tła naturalnego jest wyższe niż średnia ani wśród pracowników mających zawodową styczność z promieniowaniem jonizującym i przez to chronicznie lub przez długie okresy narażonych na podwyższone poziomy promieniowania nie jest ani o jotę wyższa niż zachorowalność osób mniej narażonych^{24,25}. Wyraźnie większe ryzyko zdrowotne pojawia się dopiero przy znacznie wyższych dawkach, jak te na które narażone są peryferyjne zdrowe tkanki wokół guzów nowotworowych poddawanych radioterapii lub te, na które byli narażeni pracownicy malujący w pierwszej połowie XX w. wskazówki zegarków fosforyzującymi farbami zawierającymi rad²⁶. Te dane wskazują na próg szkodliwości gdzieś w okolicy 100 mSv na miesiąc¹⁰. Międzynarodowe zalecenia powinny zredukować społeczny stres, przesadne obawy przed odpadami jądrowymi/likwidacją wyeksploatowanych elektrowni jądrowych oraz nadmierne koszty będące konsekwencją zbyt rygorystycznych przepisów, które swym rygoryzmem wcale nie zapewniają większego bezpieczeństwa.
- Dążenie do rozszerzenia programu klinicznych badań nad korzyściami płynącymi z chronicznego napromieniowania niskimi dawkami (LDR, Low-Dose Chronic Ionising Radiation), w szczególności nad wykorzystaniem mechanizmów adaptacji organizmów w walce z rakiem (hormeza)⁵.
- Opracowanie elektrowni atomowych nowej generacji i badania nad energią termojądrową.

Literatura

1. Warburton et al <http://www.canadianmedicaljournal.ca/content/174/6/801.full>
2. Fogarty et al. Environmental and molecular mutagenesis 52, 35 (2011).

3. Center for Disease Control and Prevention,
<http://www.cdc.gov/cancer/skin/statistics/>
4. Istnieją przepisy bezpiecznego korzystania z solariów choć nie są one przestrzegane zbyt gorliwie
http://journals.lww.com/health-physics/Fulltext/2013/04000/UV_Emissions_from_Artificial_Tanning_Devices_and.5.aspx
5. Feinendegen, Pollycove i Neumann, w “Therapeutic Nuclear Medicine”, Springer (2013)
http://dl.dropbox.com/u/119239051/Feinendegen-2012_Hormesis-by-LDR_Therapeutic-Nucl-Med.pdf
6. W radioterapii dawki zazwyczaj wyraża się w miligrejach (mGy), jednostkach do większości praktycznych celów równych milisiwertom (mSv).
7. http://rcr.ac.uk/docs/oncology/pdf/Dose-Fractionation_Final.pdf
8. UNSCEAR (UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) and ICRP (International Commission for Radiological Protection). Report 103: 2007 Recommendations.
<http://www.icrp.org>
9. Inne komitety powołane przez IAEA, WHO, BEIR, NEA, NCRP itd.
10. Dalsza dyskusja zob. <http://www.radiationandreason.com>
11. <http://www.bbc.co.uk/news/world-12860842>
12. http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima_report_20130228/en/index.html
13. <http://nextbigfuture.com/2012/08/fear-of-radiation-has-killed-761-and.html>
14. Ichiseki, H. Lancet 381, 204, (2013)
15. Yasumura, S. et al. Public Health 127, 186-188, (2013).
16. UN Chernobyl Forum, WHO
http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241594179_eng.pdf
17. <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11040508-e.html>
18. http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201107/measures_beef.pdf
19. Harbitz at al.
<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/eng/doc10879/doc10879-contenido.pdf>
20. <http://www.bmj.com/content/295/6606/1100.extract>
http://library.temple.edu/libproxy.temple.edu/~qt-homepage_search_tabs-ui-tabs2
21. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2477702/>
22. Nowe dowody nieskuteczności strategii ochrony radiologicznej zob. w
www.radiationandreason.com/uploads//enc_ChaplinSubmission.pdf
23. Dla osób ewakuowanych z okolicy uszkodzonej elektrowni atomowej w Fukushima lepiej byłoby gdyby wrócili do swych domów po upływie 1- 2 tygodni po ewakuacji.
24. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117707001032>
25. <http://www.bmj.com/content/331/7508/77> z korektą na dane kanadyjskie:
http://nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/INFO-0811-Verifying-Canadian-Nuclear-Energy-WorkerRadiation-Risk-A-Reanalysis-of-Cancer-Mortality-in-Canadian-Nuclear-Energy-Workers-1957-1994_e.pdf
26. Rowland RE
<http://www.osti.gov/accomplishments/documents/fullText/ACC0029.pdf> z komentarzem (2004) http://www.rerowland.com/Dial_Painters.pdf