

**Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania
Wydział Ekologii – Kierunek Ochrona Środowiska**



**POSTAWY EKOLOGÓW I EKOLOGII JAKO NAUKI
WOBEC ENERGETYKI JĄDROWEJ.**

Opracowała: Karolina Golichowska
Grupa DOII-03

Spis treści:

1. Wstęp
2. Wprowadzenie
3. Podstawowe wiadomości o promieniowaniu
 - 3.1. Rodzaje promieniowania
 - 3.2. Promieniowanie w środowisku człowieka
 - 3.2.1. Naturalne źródła promieniowania
 - 3.2.2. Sztuczne źródła promieniowania
 - 3.2.3. Napromienienie i skażenie
 - 3.2.4. Dawki promieniowania jonizującego
 - 3.3. Ochrona radiologiczna
4. Zagrożenia z wytwarzania energii elektrycznej z różnych źródeł
5. Korzyści z wytwarzania energii elektrycznej
6. Rola energetyki jądrowej
7. Zagrożenia wypływające z wytwarzania energii w elektrowni z paliwem kopalnym
 - 7.1. Emisje zanieczyszczeń i ich wpływ na zdrowie ludzi
 - 7.2. Możliwości ograniczenia emisji zanieczyszczeń w przyszłości
8. Zagrożenia w przypadku elektrowni jądrowych
 - 8.1. Zapas bezpieczeństwa w analizach skutków działania promieniowania jonizującego
9. Porównanie strat zdrowia i życia w obu rodzajach elektrowni
10. Wpływ energetyki jądrowej na życie człowieka
11. Ryzyko wypadków
 - 11.1. Wypadki w energetyce konwencjonalnej
 - 11.2. Wypadki w energetyce jądrowej
 - 11.3. Awaria Czarnobylska
12. Odpady radioaktywne
13. Opinia ekologów
14. Sąd nad energią jądrową
15. W obronie energii jądrowej
16. Ocena łącznych zagrożeń – podsumowanie

Bibliografia.

1. Wstęp.

Problem objęty tytułem tej pracy określają pewne pojęcia: ekologia i energetyka jądrowa. Zadaniem niniejszej pracy jest naświetlenie, czym jest energetyka jądrowa i jak się ma do ekologii, jaki wpływ wywiera na życie i rozwój człowieka, jakie zagrożenia niesie ze sobą i porównanie jej do energetyki konwencjonalnej. Rozpatrując zależności między pojęciami zawartymi w tytule, należy uściślić treści kryjące za tymi słowami.

Ekologia człowieka – nauka o wzajemnym oddziaływaniu środowiska i populacji ludzkich.

Energetyka jądrowa – zespół zagadnień związanych z uzyskiwaniem na skalę przemysłową energii z rozszczepienia ciężkich jąder pierwiastków (głównie uranu 235). Energię tę pozyskuje się w elektrowniach jądrowych (reaktor jądrowy), w reaktorach służących do napędu okrętów, w zasilaczach izotopowych (SNAP) itd. Energetyka jądrowa obejmuje również problemy związane z wydobywaniem uranu, przeróbką paliwa jądrowego oraz składowaniem odpadów jądrowych.

2. Wprowadzenie

Analizy korzyści i strat zdrowotnych oraz zniszczeń środowiska związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej są od dawna nieodłącznym elementem dyskusji na temat rozwoju nowych technologii ochrony środowiska. Energia elektryczna gra kluczową rolę w polepszaniu zdrowia i podnoszeniu standardu życiowego człowieka. Elektryczność jest niezbędnym elementem wszystkich systemów nowoczesnej infrastruktury – przemysłu, gospodarki żywnościowej, opieki zdrowotnej, transportu, usuwania ścieków, komunikacji, kształcenia i gospodarki finansowej. W miarę rozwoju podaży elektryczności rośnie wydajność rolnictwa, polepsza się zaopatrzenie w żywność, rośnie uprzemysłowienie, podnosi się poziom opieki zdrowotnej i wykształcenia, powstają nowe możliwości zatrudnienia, co przynosi w efekcie obniżenie umieralności dzieci, wzrost długości życia i podniesienie standardu życiowego. Ale chociaż zużycie energii elektrycznej przynosi człowiekowi ogromne korzyści i nie powoduje skażeń, wytwarzanie elektryczności i inne etapy cyklu paliwowego mogą powodować ogromne skażenia.

Wyniki badań wielkich grup ludności wykazały, że działanie pyłów, tlenków siarki, tlenków azotu wydzielanych przy spalaniu paliw kopalnych jest silniejsze niż dotąd przypuszczano i wpływa zdecydowanie negatywnie na zdrowie i długość życia człowieka. Nawet niewidoczne dla oka zanieczyszczenia o małych stężeniach typowych dla naszych miast powodują wyraźne skrócenie życia człowieka, a przy wysokich stężeniach dochodzi do katastrofalnych skutków. W praktyce ogromna większość ludzi żyje w warunkach narażenia na zanieczyszczenia powietrza znacznie przewyższające wartości, przy których wyraźnie zaobserwowano wzrost ilości chorób i skrócenie życia ludzi. Dlatego nawet przy normalnej pracy i normalnym działaniu filtrów elektrownie spalające paliwa kopalne powodują znaczące pogorszenie zdrowia ludzi.

W przypadku elektrowni jądrowych sytuacja jest odmienna. Przy normalnej pracy powodują one tak minimalne przyrosty promieniowania, że nie mają one znaczenia w stosunku do naturalnych wahań tła promieniowania naturalnego. Podczas gdy ludność w miastach i rejonach uprzemysłowionych narażona jest na skażenia powietrza produktami spalania o stężeniu od 20 do 200 i więcej razy wyższym niż tło naturalne, przyrosty promieniowania

stanowią około jedną tysięczną wahań naturalnego tła promieniowania. W prowadzonych na wielką skalę badaniach ludności poddanej zmianom promieniowania porównywalnym z tłem naturalnym nigdy nie wykryto wzrostu zachorowań, śmiertelności lub zmian genetycznych.

Pomimo to w analizach porównawczych od dawna zakładano, że każda dawka promieniowania jest groźna dla zdrowia. Dzisiaj wiemy, że założenie to kryje w sobie duży zapas bezpieczeństwa. Porównania wykazały, że zarówno liczba poważnych awarii, jak i łączna liczba ofiar śmiertelnych przypadające na jednostkę wytwarzanej energii elektrycznej są wyższe w przypadku energetyki konwencjonalnej niż jądrowej. Zarówno analiza historyczna awarii reaktorowych, jak i analizy probabilistyczne uwzględniające obecny stan techniki reaktorowej wykazują, że zagrożenie od elektrowni jądrowych jest znikome. Natomiast zagrożenia w skutek codziennej pracy elektrowni konwencjonalnej jest duże. Ocena liczby przedwczesnych zgonów, jakich już uniknięto dzięki wprowadzeniu energetyki jądrowej, wykazała że tylko w Rosji i na Ukrainie uniknięto dotychczas ponad 90 tys. przedwczesnych zgonów, a więc liczby znaczenie większej od potencjalnych szacowanych skutków Czarnobyla. Cywilizacja, której wszyscy jesteśmy elementami jest przejawem chęci zgłębienia powyższego dylematu.

3. Podstawowe wiadomości o promieniowaniu.

Promieniowanie – to termin oznaczający wysyłanie i przekazywanie energii. Każdy z nas, przez całe życie, ma do czynienia z różnymi rodzajami promieniowania.

3.1. Rodzaje promieniowania.

Słońce stanowi źródło życiodajnego promieniowania świetlnego i ciepłego, a także ultrafioletowego (UV), czyli promieniowania elektromagnetycznego o różnych długościach fal. Kaloryfery są źródłem promieniowania ciepłego, czyli inaczej podczerwonego, a nadajniki radiowo – telewizyjne emitują fale radiowe, czyli promieniowanie elektromagnetyczne o dużej długości fali. Z kosmosu dociera na Ziemię promieniowanie zwane kosmicznym. Pamiętajmy przy tym, że im większa długość fali, tym mniejsza energia promieniowania. Szczególnym rodzajem promieniowania jest **promieniowanie jonizujące**, nazwane tak, ponieważ wywołuje w obojętnych elektrycznie atomach i cząsteczkach materii zmiany w ładunkach elektrycznych czyli jonizację. Jonizacja to zjawisko polegające na odrywaniu elektronów od obojętnych elektrycznie atomów, na skutek czego powstają pary jonów: jony dodatnie i ujemnie naładowane elektrony. Spośród przedstawionych na rys. 1.1 różnych rodzajów promieniowania elektromagnetycznego tylko promieniowanie X,γ i kosmiczne jest promieniowaniem jonizującym. Jest to promieniowanie krótkofalowe, a więc niosące dużą energię. Mogą nim być strumienie cząstek i wówczas mówimy o promieniowaniu korpuskularnym. Promieniowanie jonizujące nie działa na nasze zmysły, podobnie jak nie odczuwamy promieniowania elektromagnetycznego. Jednak to dzięki wykorzystaniu promieniowania jonizującego lekarz może zbadać czy złamana kość została dobrze nastawiona, a technik – sprawdzić czy szczelny jest rurociąg, którym będzie przesyłana ropa lub gaz.

Występują różne rodzaje promieniowania jonizującego:

- *Cząstki alfa* – to cząstki naładowane dodatnio. Łatwo zatrzyma je papier lub skóra. Niebezpieczne są tylko wtedy, gdy substancja która emituje cząstki alfa dostanie się do wnętrza organizmu drogą oddechową lub z żywnością.
- *Cząstki beta* – to elektrony, które mają większą zdolność przenikania przez materię niż cząstki alfa. Może je zatrzymać cienka warstwa wody, szkła lub metalu. Jednak

cząstki beta mogą być niebezpieczne jeśli substancje je emitujące dostaną się do wnętrza organizmu.

- *Promieniowanie gamma i promieniowanie X (promieniowanie rentgenowskie)* – to promieniowanie elektromagnetyczne, podobne do fal świetlnych i radiowych, lecz o mniejszej długości fali. Odznaczają się bardzo dużą zdolnością przenikania przez materię i tylko materiały o dużej gęstości, takie jak ołów lub beton mogą ochronić nas przed tym promieniowaniem.
- *Neutrony* – to cząstki nie posiadające ładunku; są elektrycznie obojętne i dzięki temu z łatwością głęboko wnikają w materię. Nie wywołują jonizacji bezpośrednio, ale przez interakcje z atomami mogą doprowadzić do powstania promieniowania alfa, beta, gamma lub X, które z kolei powoduje jonizację. Neutrony może zatrzymać jedynie gruba warstwa betonu, wody lub parafiny.

Źródłem promieniowania jonizującego mogą być:

- substancje (pierwiastki lub ich chemiczne związki), które nazywamy promieniotwórczymi (lub radioaktywnymi), np. rad;
- urządzenia, np. aparaty rentgenowskie.

Źródła promieniowania można podzielić na:

- naturalne – występujące w przyrodzie;
- sztuczne – wytworzone przez człowieka.

3.2. Promieniowanie w środowisku człowieka.

Na ogół nie zdajemy sobie sprawy z tego, że – chcemy czy nie chcemy – jesteśmy stale narażeni na działanie promieniowania jonizującego, gdyż w naszym otoczeniu znajdują się liczne jego źródła. Mało tego – nawet nasze ciało jest promieniotwórcze choć w niewielkim stopniu.

3.2.1. Naturalne źródła promieniowania.

Na całej kuli ziemskiej mamy do czynienia z działaniem promieniowania jonizującego pochodzącego ze źródeł naturalnych i nazywanego **naturalnym tłem promieniowania**. Tło nie jest jednakowe na całej powierzchni Ziemi. Substancje promieniotwórcze rozmieszczone są na naszej Ziemi dość nierównomiernie. Podobnie natężenie promieniowania kosmicznego na Ziemi nie jest jednakowe.

- *Skorupa ziemska* – zawiera naturalne pierwiastki promieniotwórcze, na przykład uran, tor i potas-40, rozproszone w skałach (głównie osadowych) i w glebie. Emitują one promieniowanie gamma, które dość równomiernie napromieniowuje człowieka. Materiały budowlane zawierają surowce naturalne i mogą być też trochę promieniotwórcze. Nasze domy budowane są zwykle z surowców lokalnych. Jeśli zatem surowce te (np. kamień i glina) wykazują podwyższoną radioaktywność, wówczas i ściany naszych domów są silniej promieniotwórcze. Poziom radioaktywności zależy więc od miejsca naszego zamieszkania. Ściany naszych domów, zwłaszcza wykonane z cegły i betonu, mimo że wysyłają promienie gamma do wnętrza budynków, osłaniają nas w pewnej mierze przed promieniowaniem kosmicznym.
- *Promieniowanie kosmiczne* – dociera do nas przez atmosferę ze Słońca i innych źródeł energii w naszej galaktyce lub poza nią. Ze względu na ziemskie pole

magnetyczne, natężenie promieniowania kosmicznego jest większe na biegunach a mniejsze na równiku. Zatem otrzymywana przez ludzi dawka promieniowania zwiększa się wraz z szerokością geograficzną. Zmienia się też rytm pojawiania się plam na Słońcu i zależy od wysokości terenu względem poziomu morza. Intensywność promieniowania ze Słońca zwiększa się podczas wybuchów słonecznych, natomiast promieniowanie z pozostałych źródeł utrzymuje się na prawie stałym poziomie. Atmosfera ziemska stanowi osłonę przed promieniowaniem, ale im wyżej tym słabsza jest skuteczność tej osłony, a więc wraz z wysokością wzrasta dawka promieniowania. Ściany budynków i kadłubów samolotów stanowią niewielką ochronę przed promieniowaniem kosmicznym. Pasażerowie samolotów, a zwłaszcza kosmonauci, narażeni są na promieniowanie kosmiczne w znacznie większym stopniu niż ludzie przebywający na Ziemi.

- *Radon* – dopiero niedawno stwierdzono, że w ogólnym bilansie dawek promieniowania ze wszystkich możliwych źródeł naturalnych, największy udział ma radon. Jest naturalnym gazem promieniotwórczym, który powstaje z rozpadu radu. Znajduje się w powietrzu, jednak gdy dostanie się do wnętrza budynku, może nastąpić jego koncentracja. W pomieszczeniach zamkniętych radon bierze się przede wszystkim z podłoga i ścian budynku, a także z wody (zwłaszcza z ujęć głębinowych) i z gazu naturalnego (ziemnego). Warto pamiętać, że więcej radonu wydobywa się ze ścian wykonanych z żużla i popiołów, z kamienia (granitu) i cegły niż z drewna i betonu. Stężenie radonu i jego pochodnych w pomieszczeniach silnie zależy od tego, czy są one wietrzone lub wentylowane. Radon jest gazem szlachetnym mało aktywnym chemicznie. Nie jest więc zbyt groźny, bo organizm szybko się go pozbywa. Groźne są jednak jego pochodne, a więc substancje powstałe w wyniku rozpadu radonu. Osadzają się one w płucach i emitują tam wyjątkowo szkodliwe promieniowanie alfa, które - choć ma niewielki zasięg – działając wewnątrz organizmu może niszczyć jego żywe tkanki. Dawkę promieniowania od radonu można zmniejszyć, zapobiegając przedostawaniu się go do budynków.
- *Żywność i napoje* – substancje promieniotwórcze występują wszędzie w środowisku, więc nieuniknione jest przedostawanie się ich do wody pitnej i żywności. Najistotniejszym, chociaż nie jedynym, źródłem napromieniowania wewnętrznego jest potas-40. Ilość potasu-40 w organizmie różni się w zależności od masy mięśniowej; młodzi mężczyźni mają go dwukrotnie więcej niż starsze kobiety. W niektórych rodzajach żywności, na przykład w małżach i orzechach brazylijskich, następuje koncentracja substancji promieniotwórczych. Ludzie, którzy spożywają duże ilości takiej żywności mogą otrzymywać dawkę promieniowania znacząco większą od średniej na świecie.

3.2.2. Sztuczne źródła promieniowania.

Zazwyczaj dawki otrzymywane przez ludzi ze sztucznych źródeł są dużo mniejsze od dawek z naturalnych źródeł promieniowania. Jednak są one bardzo zróżnicowane i w przeciwieństwie do dawek z naturalnych źródeł, można je w pełni kontrolować i chronić się przed nimi.

Źródła sztuczne:

- źródła używane w badaniach radiologicznych, np. kontrolne zdjęcia klatki piersiowej;

- opad promieniotwórczy – substancje promieniotwórcze powstałe w wyniku próbnych wybuchów jądrowych oraz podczas normalnej pracy i awarii elektrowni jądrowych krążą razem z wiatrem, a po pewnym czasie opadają na ziemię;
- odpady promieniotwórcze;
- niektóre przedmioty codziennego użytku, np. zegarki świecące i odbiorniki telewizyjne, w których powstaje niewielka ilość promieniowania X;
- zastosowania w przemyśle i gospodarce.

Źródła medyczne – promieniowanie ma w medycynie dwa różne zastosowania. Jest wykorzystywane w diagnostyce chorób i urazów oraz niszczenia komórek nowotworowych. Najstarszym i najbardziej rozpowszechnionym zastosowaniem promieniowania jest diagnostyka rentgenowska, polegająca na uzyskaniu obrazu wnętrza ciała pacjenta za pomocą promieni X. Ze względu na jej przydatność każdego roku wykonuje się miliony badań rentgenowskich. Zasada badania rentgenowskiego jest stosunkowo prosta. Wiązka promieni X, przenikając przez badany narząd ulega osłabieniu, ponieważ część promieni zostaje pochłonięta przez tkankę. Narządy zbudowane z tkanek o różnej gęstości, w różnym stopniu pochłaniają wiązkę promieniowania. Niejednorodnie osłabiona wiązka promieni X trafia na kliszę fotograficzną i powoduje jej zaciemnienie proporcjonalnie do stopnia osłabienia. W ten sposób na kliszy fotograficznej uzyskujemy obraz badanego narządu. W badaniach radiologicznych stosowane są również związki kontrastowe, czyli substancje, które silnie pochłaniają promienie X. Wprowadzenie ich na przykład do układu naczyniowego pozwala na uwidocznienie przebiegu i zarysu tętnic oraz żył (arteriografia). Jednym z ważniejszych osiągnięć techniki rentgenowskiej jest tomografia komputerowa. Sterowany komputerem proces wykonywania kolejnych zdjęć badanego narządu (w różnych płaszczyznach i pod różnym kątem) pozwala uzyskać warstwowy obraz, przedstawiający bardzo dokładnie nawet niewielkie zmiany chorobowe. Informacje diagnostyczne o niektórych chorobach można uzyskać wykorzystując promieniowanie gamma emitowane przez substancje promieniotwórcze podane pacjentowi w zastrzyku, doustnie lub drogą oddechową – tzw. izotopowy szpieg. Taką technikę stosuje się w medycynie nuklearnej. Substancja promieniotwórcza (znacznik) wchodzi w skład tak dobranego radiofarmaceutyku, aby koncentrowała się przede wszystkim w badanym narządzie lub części ciała. Do śledzenia położenia i koncentracji substancji promieniotwórczej stosuje się „gamma – kamerę” połączoną z monitorem. Za pomocą tego urządzenia wykrywa się promieniowanie gamma i otrzymuje obraz, który pozwala ocenić czy tkanka jest zdrowa lub jaki jest charakter i zaawansowanie choroby.

Promieniowanie w środowisku – substancje promieniotwórcze znalazły się w atmosferze także na skutek prób z bronią jądrową oraz innych działań człowieka. Mogą one w różny sposób powodować narażenie człowieka na promieniowanie: przez napromieniowanie zewnętrzne – kiedy osadzone są na powierzchni ziemi, przez wdychanie skażonego powietrza i przez połknięcie substancji promieniotwórczych wraz z żywnością i z wodą.

Opad promieniotwórczy – pochodzi z prób z bronią jądrową i jest dużym źródłem skażenia środowiska, ale związane z nim dawki dla ludności zmniejszyły się stosunkowo w latach 60. do bardzo małych obecnie.

Przemysł jądrowy – do niego należą w niewielkiej ilości szpitale i laboratoria naukowe. Uwalniają one substancje promieniotwórcze do środowiska. Przemysł jądrowy, który obejmuje cały tzw. cykl paliwowy uwalnia do środowiska niewielkie ilości różnych

substancji promieniotwórczych w każdej jego fazie. Elektrownie jądrowe uwalniają do środowiska węgiel-14 i sarkofag-32, które mogą dostać się do gleby i powietrza, a następnie za pośrednictwem łańcucha pokarmowego do żywności. Ścieki promieniotwórcze, gdy dostaną się do zbiorników wodnych skażą ryby i skorupiaki, które następnie może zjeść człowiek.

3.2.3. Napromienienie i skażenie.

Wszyscy jesteśmy stale poddani działaniu promieniowania jonizującego z naturalnych i sztucznych źródeł, znajdujących się w naszym otoczeniu. Jesteśmy więc narażeni na promieniowanie. Mówimy o narażeniu zewnętrznym, gdy źródło znajduje się poza organizmem i narażeniu wewnętrznym, gdy źródło jest wewnątrz organizmu. O osobach, które zostały poddane działaniu promieniowania mówimy, że zostały napromienione. Tak samo mówimy o innych obiektach, np. o napromienieniu żywności. Często myli się dwa pojęcia: napromienienie i skażenie promieniotwórcze. Co to jest napromienienie już wiemy, natomiast skażeniem promieniotwórczym nazywamy obecność rozproszonej substancji promieniotwórczej w jakimkolwiek miejscu poza źródłem promieniowania. Usuwanie skażeń nazywamy odkazaniem (dekontaminacją lub dezaktywacją).

3.2.4. Dawki promieniowania jonizującego.

Do oceny narażenia służy pojęcie dawki promieniowania i mocy dawek. Miarą ryzyka wystąpienia szkody biologicznej jest właśnie dawka promieniowania, którą otrzymują tkanki. Dawkę tę mierzymy w siwertach (Sv), a częściej w milisiwertach (mSv). Skutki dużych dawek promieniowania rzędu kilku Sv są dobrze udokumentowane. Bardzo duża dawka otrzymana na całe ciało w ciągu krótkiego czasu powoduje śmierć napromienionej osoby w czasie kilku dni. Jeśli jednak otrzymamy niewielką dawkę promieniowania – rzędu kilkunastu mSv – to trudno określić skutek takiego napromienienia. Przypuszcza się, że organizm może tolerować niskie dawki promieniowania i wynikające z tego uszkodzenia niewielkiej liczby komórek. Efekt popromienny może zależeć też od czasu w jaki napromienienie wystąpiło oraz od wielkości obszaru i miejsca napromienienia ludzkiego ciała. Zarówno duże jak i małe dawki promieniowania mogą wywołać skutki, z których najpoważniejszym jest choroba nowotworowa. Trudno dokładnie ocenić ryzyko zachorowania na raka przy niskich dawkach, ponieważ człowiek styka się z tysiącem innych substancji, które również mogą wywołać taki sam efekt – chorobę nowotworową. Tylko w wyjątkowych przypadkach można jednoznacznie określić przyczynę choroby nowotworowej. Nikt już chyba nie ma wątpliwości, że promieniowanie jonizujące można wykorzystać z pożytkiem dla człowieka. Właściwie stosowane – pomaga w ochronie zdrowia i czystego środowiska, w produkcji potrzebnych człowiekowi przedmiotów i materiałów, konserwacji żywności itp. Promieniowanie jonizujące służy ludziom, którzy wiedzą jak je wykorzystać i pamiętają o tym, aby niepotrzebnie nie narażać się na jego oddziaływanie. Jednym z pokojowych zastosowań energii atomowej, czyli właściwego wykorzystania promieniowania jonizującego są elektrownie jądrowe i ja postaram się udowodnić ich wyższość nad elektrowniami konwencjonalnymi.

3.3. Ochrona radiologiczna

Jest to ochrona przed promieniowaniem jonizującym, czyli całość zagadnień związanych z ochroną ludzi i środowiska przed szkodliwym działaniem promieniowania jonizującego. Składa się na nią wiele różnych przedsięwzięć. Istnieją przepisy prawne ustalające – mówiąc najogólniej – warunki, w jakich można stosować źródła promieniowania jonizującego w taki

sposób, aby ludzie – zarówno ci pracujący z nimi, jak i przebywający czy mieszkający w pobliżu – byli jak najmniej narażeni. Określone są też warunki, jakie muszą spełniać osoby podejmujące pracę z promieniowaniem, oraz obowiązki pracodawcy. Prace związane z użytkowaniem źródeł promieniowania odbywają się w specjalnych laboratoriach, zwanych pracowniami izotopowymi. Na uruchomienie takiej pracowni i nabycie źródeł trzeba mieć zezwolenie. W każdym zakładzie stosującym promieniowanie jonizujące musi być zatrudniony inspektor ochrony radiologicznej, czyli osoba posiadająca uprawnienia państwowe do nadzoru tego rodzaju prac. Istnieje również system kontroli tych wszystkich warunków oraz system postępowania w razie jakiegokolwiek awarii.

Ogromną rolę odgrywa profilaktyka. Trzeba umieć przewidywać jakie mogą być skutki zastosowania źródeł promieniowania jonizującego i starać się zapobiegać zjawiskom niekorzystnym, które mogą wystąpić. Toteż każdą pracę ze źródłami promieniowania planuje się w najdrobniejszych szczegółach, wykonuje się analizę zagrożenia, szkoli personel, stosuje się różne zabezpieczenia.

Podstawowe zasady ochrony radiologicznej:

- Im dalej tym bezpieczniej,
- Im krótszy czas narażenia tym mniejsza dawka promieniowania,
- Stosuj osłony! Osłona pochłania promieniowanie.

4. Zagrożenia z wytwarzania energii elektrycznej z różnych źródeł.

W ciągu ubiegłego dziesięciolecia energetyka dokonała ogromnych postępów w redukcji zagrożeń związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej. Zmniejszono zarówno zagrożenie zdrowia górników przy wydobywaniu węgla, jak i uwolnienia do atmosfery pyłów i związków siarki i azotu stanowiących zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Jednocześnie wzrosła świadomość zagrożeń związanych z produkcją energii elektrycznej. Utrata zdrowia ludzi narażonych na działanie produktów spalania paliw kopalnych nie ma bezpośredniego wpływu na wskaźniki ekonomiczne pracy elektrowni. Ale społeczeństwo jako całość musi ponosić odpowiednie koszty – leczenia, zgonów, utraty zdolności do pracy, pogorszenia jakości życia w rejonach skażonych itd.

Na początku lat 90. Unia Europejska podjęła program „ExternE” obejmujący cykl porównawczych studiów zagrożeń z wytwarzaniem energii elektrycznej. Analizy wydano w ośmiu raportach opisujących bardzo szczegółowo metodykę ocen i wyniki dla różnych źródeł energii. Metodyka analiz prowadzonych w ramach tego projektu ustalona była z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć w dziedzinie badań wpływu skażeń powietrza na zdrowie człowieka. Cechą charakterystyczną tej metodyki jest uwzględnianie całego cyklu wytwarzania energii, od wydobycia paliwa i budowy elektrowni do likwidacji obiektów i rekultywacji terenów. Takie całościowe ujęcie jest szczególnie ważne w przypadku odnawialnych źródeł energii, takich jak elektrownie słoneczne oparte na ogniach fotoelektrycznych, które w fazie eksploatacji niemal zupełnie nie zagrażają zdrowiu ludzi, natomiast w fazie produkcji ogni i budowy elektrowni powodują znaczące zagrożenie. Istotne jest także przyjęcie założenia, że straty zdrowotne określane są w odniesieniu do jednostkowego wzrostu emisji zanieczyszczeń. Takie założenie od dawna przyjmowano w odniesieniu do energii jądrowej, obliczając potencjalnie możliwe straty zdrowotne tak, jakby każda dawka promieniowania powodowała pewien wzrost zachorowań na raka. Wyniki badań wielkich populacji wskazują, że założenie to jest zbyt pesymistyczne, bo dodatkowe dawki promieniowania pochodzące od energetyki jądrowej są wielokrotnie mniejsze od wahań promieniowania naturalnego, które nie powodują wykrywalnych strat zdrowotnych. W przypadku skażeń powietrza związkami chemicznymi i pyłami sytuacja jest zupełnie inna.

Stężenia zanieczyszczeń powodowane przez człowieka są znacznie większe od tła naturalnego. Badania ich skutków zdrowotnych wykazały, że wszelkie, nawet małe wzrosty zanieczyszczeń powietrza prowadzą do zwiększenia zachorowań i śmiertelności społeczeństwa.

5. Korzyści z wytwarzania energii elektrycznej.

Najbardziej widocznym efektem wykorzystania energii w służbie człowieka jest wzrost dobrobytu, a w parze z nim – wzrost oczekiwanej długości życia. Wpływ ilości zużywanej energii na długość życia jest wyraźny. Niewątpliwie postęp techniczny, umożliwiający zapewnienie społeczeństwu wystarczającego pożywienia, czystej wody, mieszkań, opieki lekarskiej itd. zaowocował przedłużeniem życia o 30-40 lat.

Trudno jest więc wydzielić jakiegokolwiek pojedynczy czynnik decydujący o przedłużeniu życia. Analizy prowadzone do 1975 roku wykazały jednak, że dobra korelacja występuje tylko z ilością zużywanej energii i poziomem wykształcenia mieszkańców. W związku z często wygłaszanymi opiniami o możliwości podnoszenia poziomu życia bez wzrostu zużycia energii warto przypomnieć, że chociaż zużycie energii brutto rzeczywiście uległo zahamowaniu, to zużycie energii elektrycznej stale rośnie. Można nawet twierdzić, że właśnie dzięki wzrostowi zużycia energii elektrycznej wraz z towarzyszącym mu podnoszeniem sprawności wykorzystania tej energii możliwe było zahamowanie globalnego wzrostu zużycia energii. W obliczu globalnych zagrożeń związanych ze spalaniem paliw organicznych, takich jak wycinanie lasów, redukcja warstwy ozonowej w stratosferze, przede wszystkim efekt cieplarniany, podjęto analizy możliwości ograniczenia zużycia energii, a w szczególności organicznie spalania paliw organicznych, bez rezygnacji z osiągnięć cywilizacji. Niestety, mimo to nie udało się jeszcze doprowadzić do spadku zużycia energii elektrycznej w żadnym kraju.

Chociaż zmiany proponowane w imię ochrony Ziemi są teoretycznie możliwe, doświadczenie wykazuje, że zużycie energii elektrycznej nie spada, a wzrost sprawności urządzeń jest równoważony wzrostem ogólnego zapotrzebowania na usługi i wygody domowe. Trzeba oczekiwać, że zużycie energii elektrycznej będzie nadal rosło. Tak więc niezależnie od starań o ograniczenie zużycia energii trzeba wiedzieć, które rodzaje energii pozwalają na najmniejsze obciążenie środowiska, zarówno w skali regionu, jak i całego świata.

6. Rola energetyki jądrowej.

Energetyka jądrowa dostarcza obecnie ok. 17% ilości energii elektrycznej wytwarzanej na całym świecie. W przyszłości energią jądrową będzie niezbędną dla wszystkich krajów - nie ma innego źródła energii, które mogłoby zapewnić produkcję energii elektrycznej potrzebnej ludzkości bez jednoczesnego zatrucia powietrza lub ogromnych kosztów. Wobec grożącego globalnego ocieplenia klimatu wywołanego efektem cieplarnianym konieczność wprowadzonej energetyki jądrowej na miejsce systemów z paliwami kopalnymi staje się oczywista nawet dla dotychczasowych przeciwników energetyki jądrowej.

Liczba zgonów powodowanych obecnie przez spalanie paliw kopalnych sięga niemal 2 mln rocznie (źródło Working Group, 97) więc odejście od paliw kopalnych i zastąpienie ich energią jądrową może przynieść wymierne korzyści dla zdrowia ludzi znacznie wcześniej, niż efekt cieplarniany stanie się bezpośrednim zagrożeniem.

Energetyka jądrowa nie wydziela gazów powodujących efekt cieplarniany ani nie powoduje zanieczyszczeń związkami siarki, azotu i pyłami. Ponadto, dzięki temu że od pierwszych lat jej rozwoju przywiązywano ogromną wagę do redukcowania emisji substancji radioaktywnych i narażenia radiacyjnego personelu, energetyka jądrowa stanowi wzór działań

zmierzających do zmniejszenia zagrożeń społeczeństwa i pracowników zarówno w czasie normalnej pracy, jak i w warunkach awaryjnych. Oprócz zmniejszania się dawek kolektywnych maleją także wydzielania produktów rozszczepienia z reaktorów jądrowych a także liczba awarii w elektrowniach jądrowych. Mówiąc o awariach mamy na myśli wszystkie awarie, nie tylko awarię w Czarnobylu, która spowodowała utratę życia ludzi, ale wszelkie awarie, w wyniku których doszło do wydzielania substancji radioaktywnych. Liczba awarii ze znaczącymi skutkami radioaktywnymi w różnych fazach jądrowego cyklu paliwowego jest niewielka. Mówiąc o skutkach zdrowotnych wytwarzania energii mamy na myśli zarówno normalną pracę, podczas której występują wydzielania gazów do atmosfery czy też ciekłych i stałych zanieczyszczeń do otoczenia, jak i sytuacje awaryjne, które szczególnie w przypadku energii jądrowej znajdują natychmiast miejsce w nagłówkach gazet i traktowane są przez wielu dziennikarzy jako największe zagrożenie, z jakim spotyka się człowiek współczesny.

7. Zagrożenia wypływające z wytwarzania energii w elektrowni z paliwem kopalnym.

Zagrożenia związane z pracą elektrowni na paliwo kopalne kojarzą się przede wszystkim ze zgonami górników w kopalniach węgla, jednak największe zagrożenia powodują wydzielania do atmosfery produktów spalania węgla. Zagrożają one nie tylko pracownikom zatrudnionym w kopalniach, w transporcie czy elektrowniach, ale przede wszystkim ich rodzinom, kobietom, dzieciom, wszystkim ludziom mieszkającym w pobliżu elektrowni.

7.1. Emisje zanieczyszczeń i ich wpływ na zdrowie ludzi.

Przez wiele lat uważano, że najgroźniejszym związkami, jakie wydzielają się z elektrowni węglowych jest SO_2 , powodujący choroby górnych dróg oddechowych, kwaśne deszcze i mierzalne zanieczyszczenia lasów. Później jednak okazało się, że chociaż SO_2 towarzyszy skażeniom powietrza, to jednak równie groźne – a może najgroźniejsze dla człowieka – są pyły.

Zakres wielkości pyłów oznaczanych TSP jest duży, od 0 do 100 μm . Pyły o średnicy 10 μm są najgroźniejsze dla człowieka. Naturalne filtry w układzie oddechowym człowieka potrafią skutecznie zatrzymać cząsteczki pyłów o większych średnicach, duże cząsteczki nie przechodzą poza nos. Natomiast cząstki pyłów o najmniejszych średnicach przechodzą do płuc i oskrzeli, tutaj osadzają się i powodują bardzo groźne skutki.

Tabela 7.1. Typowe wielkości emisji z elektrowni z paliwem kopalnym, t/GW(e)-rok.

Parametr	Pyły	SO_2	NO_x	Źródło
Limity emisji dla nowych elektrowni				
W Unii Europejskiej	1 580	12 640	20 540	EC Council
W USA	1 411	16 432	8 216	CFR 60
W Szwajcarii		12 000	6 000	Dones
Emisja z nowoczesnych elektrowni na pył węglowy				
Pył węglowy, New York Study	1 226	14 892	16 118	Rowe
Pył węglowy, US, 2,1% S	1 314	15 242	25 404	ORNL
Pył węglowy, US, 0,7% S	876	7 095	19 272	ORNL
Pył węglowy, dane europejskie				
West Burton	1 405	9 658	19 316	ExternE

Parametr	Pyły	SO ₂	NO _x	Źródło
Lauffen	1 752	7 008	7 008	ExternE
Cordemais	1 490	11 914	19 447	Rabl 96
PC + FGD, Europa zach. BCC-97	876	5 250	18 396	DECADES
Emisje przy spalaniu węgla przy użyciu technologii zaawansowanych				
Gazyfikacja węgla, cykl skojarzony	727	1 454	3 653	Rowe
Złoże fluidalne ciśn. atmosferyczne	587	17 956	3 942	Rowe
Emisje przy spalaniu ropy				
Ropa + turbina	1 638	2 733	3 828	Rowe
Ropa + turbina na obciążenie szczytowe	219	12 185	8 218	ExternE
Ropa, cykl skojarzony, obciążenie podstawowe	140	7 437	76 338	ExternE
Ropa nisko siarkowa + turbina parowa	1 139	46 078	10 512	Rabl
Ropa + turbina parowa	2 628	27 594	11 914	Kollas
Gaz ziemny				
Gaz ziemny, cykl skojarzony	306	17	596	Rowe
Gaz ziemny, Francja	-	-	6 220	ExternE
Biomasa, drewno	1 279	385	6 395	Rowe

Również zasięg cząstek w atmosferze zależy od ich średnicy. Cząsteczki o większych średnicach są dość skutecznie wychwytywane przez filtry w elektrowniach a także szybko opadają i mają stosunkowo mały zasięg. Natomiast cząstki o małych średnicach przenikają przez filtry i rozchodzą się daleko, sięgając tysięcy kilometrów od punktu emisji.

7.2. Możliwości ograniczenia emisji zanieczyszczeń w przyszłości.

Elektrownie węglowe na pył węglowy stanowią typ dominujący w krajach UNIPeDE (Unia Producentów Energii Elektrycznej) i przewiduje się, że będą dominować również w 2010 roku. Oczekuje się, że będą one modernizowane tak, by bloki były wyposażone w urządzenia ochrony środowiska, takie jak mokre usuwanie siarki z użyciem wapnia, selektywna redukcja katalityczna tlenków azotu i układy usuwania pyłów ze spalin. Odnośnie do SO₂ przewiduje się wprowadzenie nowych technologii odsiarczania i spalanie węgla o niskiej zawartości siarki.

Dla elektrowni węglowych ze złożem fluidalnym pod ciśnieniem można obniżyć wytwarzanie SO₂. Dzięki niskiej temperaturze spalania można również obniżyć emisję NO_x, ale wzrośnie emisja N₂O. Jest to o tyle ważne że N₂O jest gazem o stosunkowo dużym potencjale zwiększania efektu cieplarnianego, tak że w świetle obecnych dążeń do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych ten kierunek zmian technologicznych jest wątpliwy.

8. Zagrożenia w przypadku elektrowni jądrowych.

Systematyczne starania o zmniejszenie do minimum emisji substancji promieniotwórczych z elektrowni jądrowych doprowadziły do obniżenia dawek otrzymywanych wokół elektrowni do wartości będących małym ułamkiem dawek od tła promieniowania naturalnego.

Zagrożenia lokalne – dla okolicy, gdzie zbudowana jest elektrownia jądrowa – i regionalne – dla kraju – są bardzo małe. Pomijalnie małe są też dawki indywidualne otrzymywane przez ludzi na całym świecie zarówno w czasie pracy elektrowni jądrowej i związanych z nią zakładów cyklu paliwowego, jak i w bliskiej czy dalekiej rzeczywistości.

Dopiero w przypadku rozpatrywania dawek kolektywnych całkowanych na całą ludzkość i na bardzo długie okresy, porównywalne z okresami geologicznymi a dłuższe niż odstępy między epokami lodowcowymi, otrzymuje się znaczące zagrożenia. Nawet te zagrożenia są jednak dużo mniejsze niż dla innych rodzajów energii, przy których rozpatruje się tylko doraźne skutki spalania węgla czy ropy.

Uwolnienia długożyciowych izotopów, przede wszystkim węgla C-14, dają pomijalnie małe zagrożenie indywidualne, ale znaczące dawki kolektywne.

8.1. Zapas bezpieczeństwa skutków działania promieniowania jonizującego.

Warto tu zwrócić uwagę na różnicę w podejściu do oceny skutków zdrowotnych powodowanych przez skażenia powietrza pochodzące ze spalania węgla i przez uwolnienia produktów radioaktywnych. Gdy oceniano zagrożenie powodowane przez spalanie węgla, pomimo istnienia wyników badania półmilionowej grupy osób pomijano przez długie lata wpływ narażeń chronicznych na wzrost śmiertelności. Taka sytuacja nie mogłaby się zdarzyć w przypadku energii jądrowej. W ocenach powodowanego przez nią zagrożenia obowiązuje podejście pesymizujące, przy którym ocena może dać zawyżoną liczbę zgonów, czasami nawet znacznie zawyżoną, ale na pewno nie daje wyników zaniżonych.

Wieloletnie badania 80 tys. osób mieszkających w rejonie Chin o podwyższonym tle promieniowania wykazały, że w porównaniu z ludnością w sąsiednim okręgu o normalnym tle promieniowania ilość zachorowań na raka wśród ludności silniej napromieniowanej jest o 14% NIŻSZA. Analiza czynników ubocznych, mogących wpłynąć na wynik badań nie wykazała różnic między obu rejonami. Wyniki badań blisko 100 tys. pracowników przemysłu jądrowego USA, Kanady i W. Brytanii opracowane przez Międzynarodową Agencję Badań Raka (IARC) wskazują, że w zakresie małych dawek promieniowania zachorowalność na raka nie rośnie, lecz maleje ze wzrostem otrzymanej dawki w proporcji 7% / Sv.

Jest to sytuacja zupełnie odmienna niż w przypadku skażeń powietrza przez produkty spalania. W przypadku zanieczyszczeń powietrza efekty zdrowotne – chroniczne choroby dzieci i dorosłych na schorzenia górnych dróg oddechowych, zaostrzenia stanów astmatycznych, choroby płuc, zwiększanie liczby przypadków wymagających leczenia klinicznego, wreszcie wzrost śmiertelności – są rejestrowane systematycznie w wielu badaniach i nie pozostawiają wątpliwości co do szkodliwości zanieczyszczeń powietrza dla człowieka. A to dym unoszący się nad kominami uważa się za widok normalny, a wiele skutków zanieczyszczeń powietrza było do niedawna pomijanych w analizach porównawczych.

Natomiast w analizach dla energetyki jądrowej chcemy mieć pewność, że rzeczywiste szkody zdrowotne nigdy nie przekroczą szkód szacowanych obliczeniowo. Dlatego w analizach stosuje się pesymistycznie określone współczynniki, wynikające z założenia, że wskaźnik zgonów na raka określony dla dużych dawek można liniowo ekstrapolować aż do zera, bez jakiegokolwiek proggu, poniżej którego efekty promieniowania stają się pomijalnie małe.

9. Porównanie strat zdrowia i życia w obu rodzajach elektrowni.

W pierwszej fazie programu ExternE między innymi przy ocenie skutków spalania węgla pominięto:

- śmiertelność powodowaną przez chroniczne wdychanie powietrza o podwyższonej zawartości pyłów,
- bezpośrednie efekty zdrowotne SO₂ i NO_x,
- choroby dróg oddechowych u górników węglowych (pylica krzemowa),
- wpływ odpadów stałych,

– efekty w skali świata i efekty długoterminowe.

W przypadku elektrowni jądrowej uwzględniono wszystkie efekty krótko i długoterminowe. Zgodnie z praktyką francuską przyjęto, że odpady ze wzbogacenia uranu są powtórnie umieszczane w kopalniach uranu i bezpiecznie zakryte.

Tabela 9.1. nie obejmuje efektów zdrowotnych i strat materialnych związanych z efektem cieplarnianym. Włączenie ich spowodowałoby dalsze polepszenie sytuacji energii jądrowej.

Tabela 9.1. Porównanie skutków zdrowotnych wytwarzania energii elektrycznej z różnych źródeł według wyników pierwszego etapu ExternE.

Źródło energii	Koszty strat zdrowotnych (mEUR/kWh)	Zgony / GW(e)-rok
WĘGIEL (Laufen, RFN)	14,8	37,4
Pył węglowy, odsiarczanie i kontrola azotu (FGD, SCR)		
WĘGIEL BRUNATNY (jw.)	10,0	26,9
ROPA (West Burton, UK)	12,1	32,4
z turbiną gazową do obciążenia szczytowego		
GAZ ZIEMNY	0,6	1,7
WIATR z turbinami 300 kW	2,2	0,35
HYDROELEKTROWNIE	2,2	1,0
ELEKTROWNIE JĄDROWE (PWR, 900 MWe, Francja, efekty zdrowotne scałkowane przez 100 lat)	0,4	1,0

W drugiej fazie programu ExternE, wraz z wprowadzeniem śmiertelności wskutek narażenia chronicznego podjęto ocenę, o ile skraca się życie wskutek tego narażenia i ile wart jest dodatkowy rok życia. Zgon w skutek narażenia chronicznego powoduje skrócenie życia o 10 lat, a zgon w skutek nagłego wzrostu stężenia zanieczyszczeń skraca życie o 0,75 roku.

Większość szkód zależy od lokalizacji elektrowni, przede wszystkim od gęstości zaludnienia w rejonie elektrowni i części świata najbardziej narażonej na działanie zanieczyszczonego powietrza. Gdybyśmy rozpatrywali skutki pracy elektrowni na Śląsku, gdzie gęstość zaludnienia jest wyższa niż w rejonie lokalizacji elektrowni niemieckich, wyniki byłyby zapewne wyższe.

Jak widać porównanie liczby przedwczesnych zgonów powodowanych przez energetykę jądrową i przez paliwa kopalne przemawia jednoznacznie na korzyść energetyki jądrowej. Po uwzględnieniu aktualnych danych widać, że z wytwarzaniem energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych łączy się zagrożenie rzędu 1 zgonu na GW(e)-rok, podczas gdy nawet przy najbardziej korzystnym z paliw kopalnych – przy gazie ziemnym – liczba ta jest 40 krotnie większa. Spalanie węgla kamiennego, brunatnego lub ropy daje zagrożenie setki razy większe niż w przypadku energii jądrowej. I to dla nowych instalacji, spalających paliwa kopalne z zachowaniem wszelkich wymagań dotyczących kontroli emisji obowiązujących w krajach Unii Europejskiej i USA.

10. Wpływ energetyki jądrowej na życie człowieka.

W świetle powyższych wyników, określających wyraźnie koszty zdrowotne, jakie ponosi człowiek w skutek zanieczyszczeń atmosfery powodowanych przez spalanie paliw kopanych, warto sprawdzić jakie skutki dla zdrowia człowieka miało wprowadzenie energetyki jądrowej. Najdokładniejsze dane są dostępne dla krajów rozwiniętych, gdzie zresztą pracuje większość elektrowni jądrowych.

Na podstawie badań przeprowadzonych w wielu krajach Europy i Ameryki, w których wyprodukowano rocznie w elektrowniach jądrowych 2.966 GW(e) uniknięto ponad milion 270 tys. przedwczesnych zgonów.

11. Ryzyko wypadków.

11.1. Wypadki w energetyce konwencjonalnej.

Wśród wypadków związanych z energetyką konwencjonalną najczęściej wymienia się zgony górników w kopalniach węgla, czasem prasa pisze o ogromnych szkodach dla środowiska powodowanych przez katastrofy statków wiozących ropę, z rzadka wspomina się o możliwych awariach rurociągów. Niestety, liczba wypadków powodujących zgony ludzi jest znacznie większa, niż wynikałoby z doniesień prasowych. Liczba tych awarii wcale w ostatnich latach nie zmalała, a chociaż w Europie zdarza się ich mniej, to przecież energetyka europejska korzysta z surowców energetycznych wydobywanych w pozostałych częściach świata i nie możemy ignorować wypadków tylko dlatego, że bezpośrednio nas nie dotyczą. Zresztą w przypadku Polski katastrofy górnicze dotyczą nas jak najbardziej i smutny bilans ofiar wydobywania węgla musimy uwzględnić w szacunkach strat zdrowotnych związanych z energetyką.

Liczba ofiar śmiertelnych spowodowanych przez drobne wypadki, o których nie pisze prasa, bo niestety są sprawą codzienną, jest o wiele większa.

W przypadku ropy naftowej nie jest wcale lepiej. W okresie 1969 do 1992 roku zanotowano blisko 300 ciężkich awarii, w których zginęło łącznie ponad 10 tys. osób. Wśród wypadków spowodowanych przez olejowy cykl paliwowy znalazły się dwa, które uznano za nietypowe, mianowicie zderzenie tankowca ze statkiem pasażerskim i pożar podczas transportu ropy w tunelu o dużej długości.

Lepsza sytuacja występuje w przypadku gazu ziemnego, ale i tutaj liczba ofiar na jednostkę energii jest znaczna, a użycie gazu ciekłego (LPG) powoduje wysokie zagrożenie, znacznie większe niż dla jakiegokolwiek źródła energii.

11.2. Wypadki w energetyce jądrowej.

A jak na tym tle wygląda energetyka jądrowa? Natychmiastowa odpowiedź, jaka ciśnie się na usta każdemu czytelnikowi codziennej prasy, brzmi „Czarnobyl! Gorszej katastrofy nie było!” Prawda nie pokrywa się jednak z uproszczonym obrazem sensacyjnych doniesień prasowych. Skutki awarii w Czarnobylu są znacznie mniejsze od tych, które wynikałyby z alarmujących artykułów, a sama awaria w Czarnobylu NIE JEST reprezentatywnym wypadkiem mogącym zdarzyć się w normalnych elektrowniach jądrowych.

Według IARC awaria w Czarnobylu może spowodować wzrost liczby zgonów na raka ocenianym maksymalnie na 9 tys. zgonów.

W rejonie Czarnobyla dawki w ciągu całego życia wahają się od 360 mSv w rejonie o niskim promieniowaniu do 480 mSv w rejonie o wysokim promieniowaniu i są niższe niż np. dawki w Finlandii przekraczające 500 mSv. A przecież nikt nie ewakuuje Finlandii, ani nie ma żadnych oznak, by to promieniowanie powodowało wzrost zachorowań na rak czy białaczkę.

Fakt, że znaczną część dawek otrzymano w ciągu kilku dni po awarii prawdopodobnie nie spowoduje wzrostu śmiertelności na raka. Nie należy jednak pomijać zachorowań wywołanych przez trudności gospodarcze, które wystąpiły po awarii, przez psychozę lęku przed promieniowaniem, podsycaną przez różne czynniki, przez decyzję o ewakuacji i o zakazach spożywania płodów rolnych uznawanych za przesadne i szkodliwe społecznie. Wszystkie te czynniki stanowią rzeczywiste obciążenia dla ludności rejonu Czarnobyla i wpływają ujemnie na

jej zdrowie, ale chorób przez nie wywołanych nie można zaliczać do chorób popromiennych a raczej do skutków psychosomatycznych wywołanych przez błędne decyzje i długotrwały stres psychologiczny. Stres ten jest spowodowany w dużej mierze propagandą organizacji świadomie dążących do rozbudowania skutków tragedii w Czarnobylu. Badania ludności wokół Czarnobyla wykazały, że chociaż stan zdrowia ludności w tamtym rejonie jest zły, to nie można przypisywać tego skutkom promieniowania (WHO, 1996).

Jedynym zarejestrowanym skutkiem awarii jest wzrost wykrywanych przypadków nowotworów tarczycy wśród dzieci, zwykle nadających się do wyleczenia. Sprawą otwartą pozostaje, w jakim stopniu wzrost ten jest rzeczywisty a w jakim odzwierciedla zwiększenie zainteresowania przypadkami nowotworów tarczycy i udoskonalenie metod ich wykrywania.

Niestety tragedie ludzkie wykorzystywane są przez przeciwników energetyki jądrowej popieranym przez żądną sensacji prasę w sposób, który pogłębia psychozę katastrofy i utrzymuje ludzi w stanie długotrwałego i wieloletniego stresu. Opisy zachorowań, do których przyczynia się stres, a nie chorób nowotworowych, stanowią główny temat prac nad zachorowalnością ludzi po awarii czarnobylskiej.

11.3. Awaria czarnobylska.

26 kwietnia 1986 roku awarii i zniszczeniu uległ jeden z czterech reaktorów RBMK elektrowni jądrowej w Czarnobylu na Ukrainie. Przyczyną tej awarii był splot wydarzeń, który musiał do takiej katastrofy doprowadzić. Jednym z głównych powodów zniszczenia reaktora jądrowego były cechy projektowe instalacji, które sprzyjały takiemu rozwojowi sytuacji, a mianowicie:

- obecność 2000 ton moderatora grafitowego (substancji palnej)
- możliwość gwałtownego wzrostu mocy reaktora w przypadku odparowania wody, służącej jako chłodziwo reaktora
- brak szczelnej oraz odpowiednio wytrzymałej obudowy bezpieczeństwa, zapobiegającej wydostaniu się na zewnątrz reaktora produktów rozszczepienia uranu z elementów paliwowych w przypadku stopienia się rdzenia reaktora.

Reaktory tego typu nie były poza Związkiem Radzieckim nigdzie na świecie stosowane i nie uzyskałyby zezwolenia na budowę i eksploatację. Głównymi czynnikami, które zapoczątkowały zniszczenie reaktora, były niedozwolone i źle pomyślane eksperymenty przeprowadzane na nim w czasie eksploatacji. Na dodatek, prowadzono je po niedopuszczalnym wyłączeniu części automatycznych zabezpieczeń reaktora. Samo zniszczenie reaktora i jego budynku spowodowane było przez wybuch chemiczny wodoru, uwolnionego – po zniszczeniu przewodów układu chłodzenia – z pary wodnej, która oddziaływała z cyrkonem koszulek prętów paliwowych i z grafitem.

Po wybuchu chemicznym i zniszczeniu bloku reaktora wybuchł gwałtowny pożar. Doszło do uwolnienia bezpośrednio do otoczenia i do atmosfery dużej ilości substancji promieniotwórczych. Większość uwolnionych izotopów promieniotwórczych, zwłaszcza ciężkich pierwiastków, osiadła w bliskości reaktora. Najbardziej lotne izotopy (gazy szlachetne, izotopy jodu i cezu) dostały się do atmosfery. Wyrzucane początkowo na wysokość 1000 m przesuwały się z masami powietrza zgodnie z panującymi warunkami meteorologicznymi i stopniowo osiadały na powierzchni ziemi, powodując skażenia w całej Europie, a niewielkie aktywności zarejestrowano praktycznie na całej północnej półkuli. Osiadanie było bardzo nierównomierne, zależało od zmieniających się kierunków przepływu mas powietrza i od lokalnych warunków meteorologicznych. Największe skażenia wystąpiły oczywiście w otoczeniu elektrowni, w promieniu około 30 km. Duże były również skażenia części obszarów Białorusi, Ukrainy i Rosji w odległości do 200-300 km od miejsca awarii. W sąsiednich krajach

Europejskich skażenia były dziesiątki, a nawet setki razy mniejsze. Skażenia promieniotwórcze spowodowały, że ludzie otrzymali dawki promieniowania, które miały lub potencjalnie mogą mieć w przyszłości wpływ na stan ich zdrowia.

Ostrą chorobę popromienną rozpoznano u 134 osób spośród personelu elektrowni i strażaków interweniujących w pierwszych godzinach awarii. Spośród nich w następstwie tej choroby zmarło 28 osób. Ponadto jedna osoba zginęła w wyniku urazów mechanicznych i jedna na zawał serca.

W obszarze obejmującym sąsiadujące rejony Białorusi, Ukrainy i Rosji, gdzie wystąpiły duże skażenia izotopami jodu, doszło do uchwytne go i znacznego wzrostu zapadalności na raka tarczycy u dzieci. Stwierdzono dotychczas ok. dziewięćset przypadków tej choroby i zanotowano kilka zgonów. Stwierdzono również w populacji dziecięcej wzrost częstości innych schorzeń tarczycy wywołanych najprawdopodobniej promieniowaniem I-131.

Należy z naciskiem podkreślić, że nie istnieją w dotychczas publikowanej literaturze naukowej dane stwierdzające jednoznacznie na terenie byłego Związku Radzieckiego wzrost zapadalności na białaczkę oraz inne nowotwory, które można byłoby wiązać ze skutkami awarii czarnobylskiej. Nie można wykluczyć, że w przyszłości dane takie mogą się pojawić, zwłaszcza dotyczące bardzo dużej grupy mężczyzn zaangażowanych bezpośrednio w zwalczanie skutków awarii na terenie Czarnobyla.

Dodatковым skutkiem awarii, szczególnie na terenach Rosji, Ukrainy i Białorusi, było występowanie tzw. psychosomatycznego zespołu postresowego. Wiąże się on z dolegliwościami spowodowanymi nie działaniem promieniowania na organizm, lecz silnym, nieraz długotrwałym stresem.

Wśród części społeczeństwa polskiego istnieje przekonanie, że awaria czarnobylska wywarła duży ujemny wpływ na zdrowie ludzi w Polsce i że wpływ ten występuje nadal. Przekonanie to jest głównie powodowane częstym pojawianiem się w środkach masowego przekazu nieodpowiadających rzeczywistości, nieodpowiedzialnych opinii dotyczących zdrowotnych skutków tej awarii. Gdy w końcu 2000 r. Władze Ukrainy uroczyście wyłączały ostatnie reaktory czarnobylskiej elektrowni, prasa, radio i telewizja na całym świecie nadal upowszechniały apokaliptyczną wizję katastrofy. W depeszach Polskiej Agencji Prasowej można było przeczytać: „Na Ukrainie liczba śmiertelnych ofiar wybuchu jądrowego przekroczyła 4 tys. Osób, a 3,5 mln ludzi cierpi w różnym stopniu z powodu skażenia radioaktywnego. (...)” W reportażach telewizyjnych znów pokazywano oddalone o kilkanaście kilometrów od elektrowni opustoszałe miasto Prypeć, dzieci, które przyszły na świat potwornie zdeformowane, opowiadano o tragedii wysiedlonych z „trzydziestokilometrowej strefy śmierci”, cytowano tych, którzy znaleźli się „wśród 3,5 mln osób dotkniętych skutkami awarii”: „Jak długo jeszcze będę żyć, czy za rok, a może już za tydzień dowiem się od lekarza, że jestem chory na białaczkę?”. Tragiczny i wyolbrzymiony obraz katastrofy upowszechniany jest w mediach od pierwszych dni po awarii.

W maju 1986 r. w prasie amerykańskiej napisano, że po wybuchu reaktora zginęło na miejscu 80 osób, a 2 tys. Zmarło w drodze do szpitala oraz że ich zwłoki nie są grzebane na cmentarzach, lecz w miejscowości Pirogowo, gdzie znajduje się składowisko odpadów radioaktywnych. Dziennik „New York Post” straszył ogromnym tytułem „Grób masowy – 15 tys. Ludzi spychanych buldożerami do dołów na odpady w Kijowie”, zaś w „National Enquirer” opisano dwumetrowej wysokości zmutowanego kurczaka, który został złapany przez myśliwych w lasach koło Czarnobyla.

Dlaczego mit Czarnobyla jest tak skrzętnie podtrzymywany? Chodzi o pieniądze... Władze Związku Radzieckiego przyznały 600 tys. ludzi (których uznano za ofiary wybuchu) kilkunastodolarowe renty i przywileje socjalne. Oblicza się, że dziś ponad 3 mln ludzi ma prawo do wielu ulg ze względu na „trwałą utratę zdrowia spowodowaną promieniowaniem czarnobylskim”. Żaden polityk nie odważy się ich odebrać. Na Ukrainie coraz częściej pojawiają

się opinie, że gorliwość polityków w apelowaniu o pomoc finansową „na usuwanie skutków czarnobylskiej katastrofy” bierze się głównie z tego, iż część pieniędzy przeznaczą oni na łatanie dziur w budżecie państwa, a część być może przepadnie w kieszeniach urzędników.

12. Odpady radioaktywne.

Składowanie odpadów promieniotwórczych stanowi najbardziej palący problem w relacjach między energetyką jądrową a opinią publiczną. Czemu problem ten jest tak ważny, że aż stał się główną przeszkodą dla energetyki jądrowej? Wśród wielu przyczyn można wymienić dwie:

- Niechęć składowania odpadów we własnym sąsiedztwie rozrosła się ponad wszelkie miary. Obecnie nawet ważniejszą rolę odgrywa w odniesieniu do zwykłych odpadów domowych. Są one przyczyną codziennych kontaktów społeczeństwa z toksycznymi odpadami, podczas gdy składowanie wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych znajduje się dopiero w fazie projektów.
- Rozwiązaniem tego problemu atomistyka zajęła się bez pośpiechu, głównie ze względu na brak potrzeby szybkich działań. Ale społeczeństwo interpretowało tę uzasadnioną powolność jako dowód braku rozwiązań technicznych.

Odpady promieniotwórcze dzieli się według dwóch podstawowych kryteriów. Ze względu na postać fizyczną:

- stałe
- ciekłe
- gazowe

Ze względu na aktywność, przypadającą na jednostkę objętości:

- niskoaktywne
- średnioaktywne
- wysokoaktywne

Aby ograniczyć ryzyko związane z tymi odpadami do minimum musimy je unieszkodliwić. Nie potrafimy żadnymi czynnikami fizycznymi ani chemicznymi tak zadziałać, aby substancja promieniotwórcza stała się „niepromieniotwórcza”. Nie potrafimy również „zneutralizować” substancji promieniotwórczej tak, jak umiemy to robić w przypadku związków chemicznych. Pozostają nam tylko takie działania, które spowodują, że promieniotwórczość odpadów nie będzie stanowiła zagrożenia dla otoczenia.

W przypadku izotopów krótkożyciowych metoda jest prosta. Nazywamy ją „wygaszaniem” lub „schładzaniem”, a polega na przechowaniu odpadów – zwykle w miejscu powstania, jeżeli jest to technicznie możliwe – przez czas dostatecznie długi, aby ich aktywność znacznie zmalała.

Odpady długożyciowe magazynuje się po nadaniu im takiej formy (postaci), która zapewni nieprzedostawanie się substancji promieniotwórczych do środowiska przez długi czas – dziesiątki i więcej lat.

Dąży się przede wszystkim do zmniejszenia ich objętości. W przypadku odpadów stałych osiąga się to przez prasowanie, a w przypadku odpadów ciekłych – zwykle przez sorpcję na sorbentach nieorganicznych oraz przez zagęszczanie ich w instalacjach wyparnych.

Dopiero po zmniejszeniu objętości przygotowuje się odpady do bezpiecznego przechowywania ich przez wiele lat. Sprasowane odpady stałe umieszcza się w hermetycznych, specjalnych pojemnikach. Natomiast szlamy i koncentraty powyparne są zestalane w asfalcie, żywicach, tworzywach sztucznych lub szkłe i umieszczane w hermetycznych beczkach.

Odpady przygotowane do ostatecznego przechowywania przewozi się do specjalnie wyznaczonych miejsc. Teren i otoczenie składowiska są strzeżone i kontrolowane. Kontroluje się także glebę i wodę. Podane metody dotyczą nisko- i średnioaktywnych odpadów.

Odpady wysokoaktywne to głównie wypalone pręty paliwowe z reaktorów jądrowych i odpady powstające podczas przerobu wypalonego paliwa. Na świecie istnieje bardzo mało zakładów przerabiających wypalone paliwo, posiadają je głównie państwa produkujące broń atomową.

Wypalone pręty paliwowe, nie przerobione, magazynuje się w specjalnych wielowarstwowych pojemnikach, a te z kolei są przechowywane w specjalnych obiektach, zwanych mogilnikami.

13. Opinia ekologów.

Katastrofa w Czarnobylu od początku była główną bronią organizacji ekologicznych w walce z energetyką jądrową. Awaria i jej rzekomo potworne skutki mają być przestrożą dla wszystkich zamierzających budować elektrownie atomowe. Kampania się powiodła i to jeszcze jak! Tymczasem z taką żarliwością walczący z elektrowniami jądrowymi obrońcy środowiska naturalnego oskarżani są przez lobby atomowe o otrzymywanie pieniędzy od koncernów naftowych i gazowych, zainteresowanych likwidacją istniejących siłowni jądrowych i opóźnianiem budowy następnych.

Rozpatrzmy teraz awersję do ryzyka – koncepcję, która twierdzi, że większość ludzi boi się nie tylko szkód, ale także samej nieokreśloności stopnia ryzyka. Jednym ze sposobów scharakteryzowania awersji do ryzyka jest założenie, że postrzegany efekt dziesięciu zgonów jest większy niż dziesięciokrotny efekt jednego zgonu – lub matematycznie biorąc, że szkoda jest równa liczbie ofiar M podniesionej do potęgi $a > 1$. To, o ile a jest większe od 1, jest miarą awersji do ryzyka, a łatwo podnosząc tę wielkość doprowadzić... do efektu szkody o nieskończonej wielkości! Łączne szkody dla społeczeństwa powodowane przez wielkie katastrofy są mniejsze niż szkody katastrof na mniejszą skalę, ale występujących znacznie częściej. Zgadza się to z odczuciem normalnego człowieka, który np. w Polsce obawia się powodzi, ale nie ubezpiecza się od trzęsienia ziemi. Współczynnik awersji stosowany jest głównie w debatach antyjądrowych, by pomimo skrajnie małych prawdopodobieństw awarii jądrowej (mniejszych niż dla trzęsienia ziemi) móc straszyć społeczeństwo ich skutkami. Wobec tego, że koncepcja awersji do ryzyka nie wystarcza by zdyskwalifikować energię jądrową, mnożą się próby przedstawienia innych koncepcji – jak na przykład podstawienie prawdopodobieństwa postrzeganego na miejsce prawdopodobieństwa faktycznego. Taka próba jest zgodna z koncepcją relatywizmu, który uważa, że nie ma faktów naukowych, a istnieją jedynie „wyobrażenia społeczne”. Jest to wygodny sposób zaciemniania różnicy między faktem a fikcją. Jest to jednocześnie powszechnie stosowanym sposobem na nadanie powagi naukowej próbom manipulacji opinią społeczną.

14. Sąd nad energią jądrową.

Sąd nad energią jądrową trwa od dnia Hiroszimy. Nieustająca debata na temat jej „niedostatków” – mimo iż fakty świadczą, że jest ona korzystniejsza dla świata niż wszystkie inne rodzaje energii – toczy się bez przerwy już od pięćdziesięciu lat.

Uczestnikami tej debaty są:

- przemysł jądrowy i związane z nim środowisko naukowe,
- społeczeństwo jako całość,
- środki masowego przekazu,
- aktywiści antyjądrowi.

Przeciętny człowiek ma mieszaną opinię o energii jądrowej: nie tak dobrą, jak chciałby tego przemysł jądrowy i nie tak złą, jak chcieliby aktywiści antyjądrowi. Jest zbity z tropu i zaniepokojony, ogólnie rzecz biorąc nie może zrozumieć docierających do niego sprzecznych informacji.

Aktywiści antyjądrowi – jest to określenie pasujące do nich znacznie lepiej niż „ekolodzy”, bo energia jądrowa jest przyjazna dla środowiska, jak zresztą przyznaje to większość ekologów – dzielą się na trzy grupy:

- Pierwsza grupa poszukuje prawdy nie cofając się przed stawianiem fałszywych oskarżeń, by uzyskać wyjaśnienie swych wątpliwości. Stara się ona o większą jawność i lepsze zabezpieczenia energetyki jądrowej, ale ostatecznie gotowa jest pogodzić się z istnieniem energii jądrowej.
- Drugą grupę charakteryzuje zaciekle wrogość wobec energii jądrowej. Niektórzy z jej członków przedstawiają zupełnie oderwane od rzeczywistości oceny jej kosztów i zagrożeń albo uciekają się do pobożnych życzeń o wykorzystaniu energii odnawialnych, albo popierają spalanie gazu, albo wręcz przeczą nawet istnieniu efektu cieplarnianego.
- Trzecia grupa, związana z „fundamentalną ekologią”, wyraża filozoficzną opozycję wobec energii jądrowej jako symbolu nieludzkiej technologii poza jakąkolwiek kontrolą przeciętnego obywatela, symbolu orwellowskiego systemu totalitarnego w opozycji do obrazu bogobojnego, skromnego i sielskiego życia.

W partiach „zielonych” dominują pierwsze dwie grupy.

Nastawienie środków masowego przekazu zostało bardzo dobrze opisane przez Nigela Hawkesa, redaktora naukowego londyńskiego dziennika „The Times”. W pewnych krajach, jak Francja, środki masowego przekazu mają nastawienie antyrządowe zaś energetyka jądrowa jest prorządowa. Zadaniem prasy nie jest ustalenie prawdy, lecz możliwie bezstronne przedstawienie stanowisk uczestników sporu. Zapewnia to rozgłos osobom występującym przeciw autorytetom naukowym, zaś definitywne obalenie ich bezzasadnych twierdzeń przechodzi bez echa, bo dobra wiadomość dla mediów nie jest wiadomością. Tę cechę środków masowego przekazu rozumieją działacze antyjądrowi, którzy wiedzą, jak dostać się na czołówki gazet głosząc groźnie brzmiące rewelacje o radioaktywnych grzybach.

Debata nuklearna przebiega niepomysłnie dla energii jądrowej głównie dlatego, że właściwie nie zawiera żadnej dyskusji. Na przykład oponenti energii jądrowej uważają za niezbitą prawdę, że problem odpadów radioaktywnych nie jest rozwiązany, a jeśli pretendują do roli intelektualistów, to wolą nazywać go nierozwiązywalnym. Takie stanowisko pozwala im nie słuchać żadnych argumentów. Relatywizm kulturowy jest obecnie modny wśród pewnych grup zajmujących się naukami społecznymi. Zgodnie z tym nastawieniem fakty naukowe są tylko

„interpretacjami społecznymi”, co na przykład oznacza, że „moje subiektywne odczucie ryzyka jest równie dobre, jak twoje ściśle obliczenia ryzyka”.

Sąd nad energetyką jądrową ma taki charakter, jak miały procesy czarownic, ponieważ każdy argument „za” jest przekształcany w argument „przeciw”. Prawdą jest, że prawdopodobieństwo wypadku jest bardzo małe, konsekwencje geologicznego składowania odpadów radioaktywnych są zaniedbywalnie małe, emisje radioaktywne są ledwo mierzalne itd. ... ale to, co słyszy społeczeństwo to tylko groźne hasła – „wypadki”, „odpady” i „radioaktywność”.

Etos ekologiczny zyskuje popularność na wszystkich szczeblach naszego społeczeństwa, w szczególności w szkole. Ale zarówno nauczyciele szkolni, jak i dzieci stale kojarzą energię jądrową z czymś wrogim wobec środowiska, a próby wyjaśnień napotykaają na silny opór psychologiczny.

Debata nuklearna ma dzisiaj wszystkie cechy wojny religijnej: mało jest w niej okazji do dyskusji. Nie ulega wątpliwości, że przyszłość energii jądrowej zależy od demokratycznej dyskusji. Ale nie ma demokracji tam, gdzie nie ma rzetelnej informacji.

15. W obronie energii jądrowej.

- Ocena wzrostu zapotrzebowania na energię z uwzględnieniem rozsądnego wzrostu sprawności wykorzystania energii elektrycznej wykazuje, że za 20 lat potrzeba będzie wolnych od emisji dwutlenku węgla mocy produkcyjnych równych łącznej mocy wszystkich elektrowni na świecie w 1990 roku (10 Twe).
- Biorąc pod uwagę przewidywane koszty energii odnawialnych, energia jądrowa jest jedynym źródłem, jakie może zaspokoić zasadniczą część zapotrzebowania na energię wolną od emisji CO₂
- Energia jądrowa jest w pełni kompatybilna z koncepcją rozwoju zrównoważonego, znacznie lepiej niż paliwa organiczne i przynajmniej równie dobrze, jak energie odnawialne.
- Energia jądrowa znacznie mniej niż gaz jest zależna od kwestii geopolitycznych.
- Analiza emisji CO₂ w Europie wykazuje ogromne zalety kombinacji energetyki jądrowej i wodnej.
- Koszty zewnętrzne dla energii jądrowej są dużo mniejsze niż dla wszystkich paliw organicznych, przy czym stopniowanie jest następujące: energia jądrowa < gaz < ropa < węgiel.
- Wysokie notowania energii jądrowej nie zależą od wyceny wartości tony emitowanego CO₂, czyli są niezależne od wagi, jaką przywiązujemy do efektu cieplarnianego.
- Do określenia przedziałów ufności wysokości kosztów zewnętrznych można wykorzystać sparametryzowanie niepewności w obliczeniach, co i tak nie zmienia wysokiego notowania energii jądrowej.
- Koszty zewnętrzne dla energii wiatrowej są wyższe niż dla energii jądrowej.
- Likwidacja energetyki jądrowej jest nonsensem ekonomicznym i zbrodnią dla ekologii.
- Postęp w podwyższaniu sprawności wykorzystania energii elektrycznej jest zarówno pożądany, jak i możliwy, ale nie zmienia konkurencyjności energii jądrowej w zaspokajaniu obciążenia podstawowego.
- Zintegrowanie kosztów zewnętrznych w cenie płaconej przez odbiorcę jest w stosunku do wszystkich form wytwarzania energii elektrycznej pożądane zarówno

z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia. Tym niemniej spotyka się ono z oporem zarówno towarzystw energetycznych, jak i partii „zielonych”.

- Istnieją naukowe i techniczne rozwiązania długoterminowego składowania odpadów radioaktywnych, ale brak jest woli politycznej.

Jeżeli atmosfera wokół energetyki jądrowej, spowodowana m.in. mitologizowaniem awarii w Czarnobylu, szybko się nie zmieni, za kilkadziesiąt lat marznąca ludność zacznie na gwałt budować elektrownie atomowe. I wtedy rzeczywiście trzeba się będzie bać, bo będą one wznoszone w pośpiechu i tandetnie.

16. Ocena łącznych zagrożeń – podsumowanie.

Ocena następstw awarii możliwych w różnych systemach energetycznych wykazała, że liczba ofiar śmiertelnych na jednostkę wytworzonej energii jest największa w przypadku gazu ciekłego, a ryzyko związane z cyklem węglowym znajduje się na drugim miejscu.

Zagrożenia od awarii normalnych, nowoczesnych elektrowni jądrowych są znikomo małe. Zmalało nie tylko prawdopodobieństwo poważnej awarii elektrowni jądrowej, zmalały także maksymalne rozmiary zagrożenia. Dodatkowym elementem mogącym wpływać na decyzję czy budować elektrownie jądrowe może być stwierdzenie że nie tylko łączne dawki i zagrożenia od cyklu jądrowego są małe, ale ponadto główne potencjalne zagrożenia występują w skali całego globu i wielu tys. lat.

Dla kraju mającego budować elektrownię, straty zdrowia człowieka, powodowane „dziś i tutaj”, są niewątpliwie najmniejsze w przypadku elektrowni jądrowej.

W sumie patrząc z perspektywy zdrowia i dobrobytu społeczeństwa, energia jądrowa obok energii odnawialnych wydaje się najbardziej pożądanym źródłem energii. Przeszkody stojące na drodze do wdrażania energii odnawialnych są znane i nie można spodziewać się, by udało się je prędko usunąć. W świetle powyżej przedstawionych rozważań wydają się oczywiste, że ze względu na zdrowie człowieka i ochronę środowiska energia jądrowa powinna być preferowanym źródłem energii przez następne kilkadziesiąt lat.

Bibliografia.

1. Promieniowanie i życie, PAA i PTN, Warszawa 1991
2. Promieniowanie w środowisku człowieka, PAA i PTN, Warszawa 1992
3. Promieniowanie i medycyna, PAA i PTN, Warszawa 1992
4. Promieniowanie jonizujące w przemyśle, PAA i PTN, Warszawa 1991
5. W poszukiwaniu energii przyjaznej ludziom i środowisku, PAA i PTN, Warszawa 1993
6. Napromienianie żywności – technologia alternatywna, PAA i PTN, Warszawa 1994
7. Co powinniśmy wiedzieć o promieniowaniu jonizującym, PAA i PTN, Warszawa 1996
8. Promieniowanie jonizujące a człowiek i środowisko, A. Skłodowska, B. Gostkowska, Wydawnictwo Scholar, Warszawa 1994
9. Bezpieczeństwo radiacyjne, PAA, Warszawa 2000
10. Analiza korzyści i zagrożeń związanych z różnymi źródłami energii elektrycznej, A. Strupczewski, PTN, Warszawa 1999
11. Portal internetowy www.nuclear.pl
12. Sąd na energią jądrową: Współczesny proces czarownic, tłum. A. Strupczewski, PTN, Warszawa 2001