

WPLYW ELEKTROWNI JADROWEJ NA OTOCZENIE

Autor: Dr inż. Grzegorz Jezierski - Politechnika Opolska

(„Energetyka Ciepła i Zawodowa” – nr 1/2010)

Pozyskiwaniu energii w rozmaitych jej formach od zarania dziejów towarzyszy jakieś ryzyko różnych niebezpieczeństw. Począwszy od groźby pożaru przy spalaniu drewna dla pozyskania energii cieplnej, poprzez wielkie katastrofy na zaporach wodnych, liczne tragedie m.in. w kopalniach węgla, awarie przy wydobyciu i transporcie paliw płynnych, skutki nadmiernych toksycznych emisji gazów spalinowych, a kończąc na tym, co wydarzyło się w elektrowni jądrowej w Czarnobylu.

Wszystkie technologie pozyskiwania energii, włączając najbardziej konwencjonalne, mają swoje zalety i wady. Również energetyka jądrowa nie odbiega od tej reguły.

Ludzie boją się energii jądrowej z powodu groźby promieniowania jonizującego, jaką ona z sobą niesie. Zapomina się jednak o tym, że każdy człowiek w codziennym życiu jest wystawiony na różnego rodzaju wpływ promieniowania jonizującego.

Wzrost poziomu promieniowania powodowany przez normalną pracę elektrowni jądrowej jest dużo mniejszy niż tło naturalne tj. promieniowanie z gleby, kosmosu, spożywanych pokarmów itp., które towarzyszy nam przez całe życie.

Wbrew wielu powszechnie utartym opiniom energetyka jądrowa stanowi niewielkie zagrożenie dla człowieka, a także środowiska naturalnego. Operując np. tzw. znormalizowanym wskaźnikiem wypadków śmiertelnych na wytworzony 1 gigawatorok (GWrok) energii elektrycznej w pełnym cyklu paliwowym, który (wg Uranium Information Centre) wynosi odpowiednio: 0,80 dla elektrowni wodnych, 0,32 dla elektrowni węglowych, 0,09 dla elektrowni gazowych i 0,01 dla elektrowni jądrowych, można zauważyć, iż energetyka jądrowa jest obecnie najbezpieczniejszą technologią wytwarzania energii elektrycznej.

Ponadto należy pamiętać, iż określony wpływ na środowisko naturalne człowieka wywierają nie tylko same czynne elektrownie jądrowe, ale tzw. pełny cykl paliwowy obejmujący również kopalnictwo rud uranu, ich przeróbkę, wzbogacanie, produkcję paliwa jądrowego, wypalanie paliwa jądrowego w reaktorach energetycznych, składowanie przejściowe paliwa wypalonego, przetwarzanie paliwa wypalonego, jego transport, składowanie ostateczne paliwa wypalonego oraz odpadów promieniotwórczych jak również końcową likwidację wyłączoną z eksploatacji elektrowni jądrowej.

Zagrożenia podczas normalnej pracy reaktora jądrowego

Zgromadzona aktywność substancji promieniotwórczych wskutek rozszczepienia jąder uranu podczas pracy reaktora jądrowego jest ogromna. O ile np. aktywność właściwa naturalnego

uranu wynosi $2,5 \cdot 10^4$ Bq/g¹ (stąd świeże paliwo jądrowe jest zupełnie bezpieczne, można je brać np. do ręki), o tyle aktywność właściwa jego produktów rozszczepienia wynosi aż $3,7 \cdot 10^{14}$ Bq/g, czyli jest ponad 10 miliardów razy większa. Po rocznej pracy typowego reaktora wodnego, przy wypaleniu paliwa równym 30 000 MWd/t powstaje w paliwie około 3,2% różnych produktów rozszczepienia (tab. 1) oraz około 0,9% plutonu i 0,1% innych aktywności (z aktywnym włącznie). Ponadto oprócz promieniotwórczych produktów rozszczepienia, plutonu i aktywności, występują także promieniotwórcze produkty aktywacji. Te ostatnie powstają w wyniku oddziaływania neutronów z wodą chłodzącą, materiałami koszulek, rdzenia i zbiornika oraz gazami rozpuszczonymi w wodzie chłodzącej. Większość substancji promieniotwórczych powstaje w paliwie i materiałach reaktorowych.

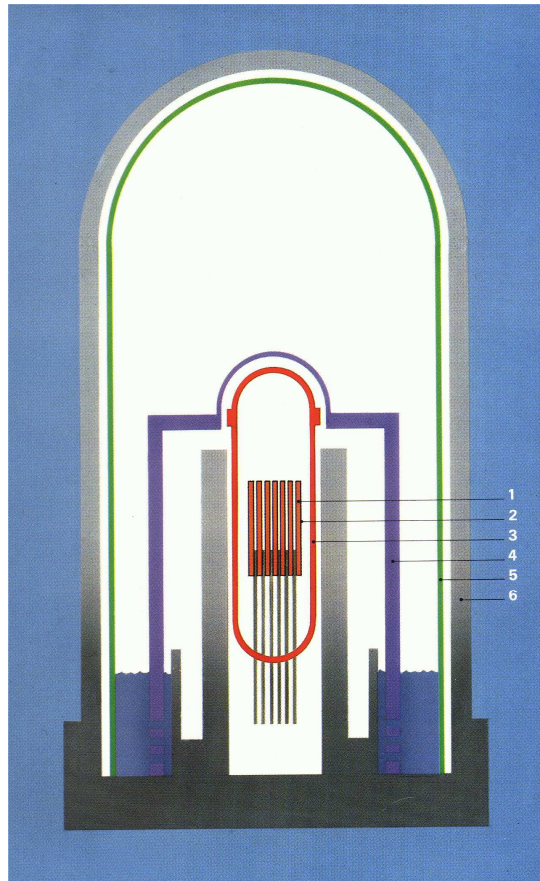
TABELA 1. Skład izotopowy wypalonego paliwa po roku pracy reaktora jądrowego.

Nuklid	Liczba masowa	Produkty rozszczepienia	
		[g/t uranu]	[%]
Krypton	83, 84, 85, 86	350,5	1,1
Rubid	85, 87	315,2	0,99
Stront	88, 90	836	2,64
Itr	89	440	1,39
Cyrkon	90, 91, 92, 93, 94, 95, 96	3398,6	10,72
Molibden	95, 96, 97, 98, 100	3148,5	9,93
Technet	99	770	2,43
Ruten	100, 101, 102, 103, 104, 106	1967,3	6,2
Pallad	104, 105, 106, 107, 108, 110	1083,2	3,42
Tellur	125, 126, 130	500,7	1,58
Jod	127, 129, 131	239,8	0,76
Ksenon	128, 130, 131, 132, 134, 136	4899,8	15,45
Cez	133, 134, 135, 137	2465	7,78
Bar	134, 136, 137, 138	1278	4,03
Lantan	139	1160	3,66
Cer	140, 142, 144	2393	7,55
Prazeodym	141	1100	3,47
Neodym	142, 143, 144, 145, 148, 150	3137,2	9,9
Samar	147, 148, 149, 150, 151, 152	749	2,36
Pozostałe		1467,1	4,63
Suma		31700	100

Przedstawianie się produktów promieniotwórczych do otoczenia podczas normalnej pracy reaktora jest niemożliwe ze względu na kolejne bariery (rys. 1), którymi są:

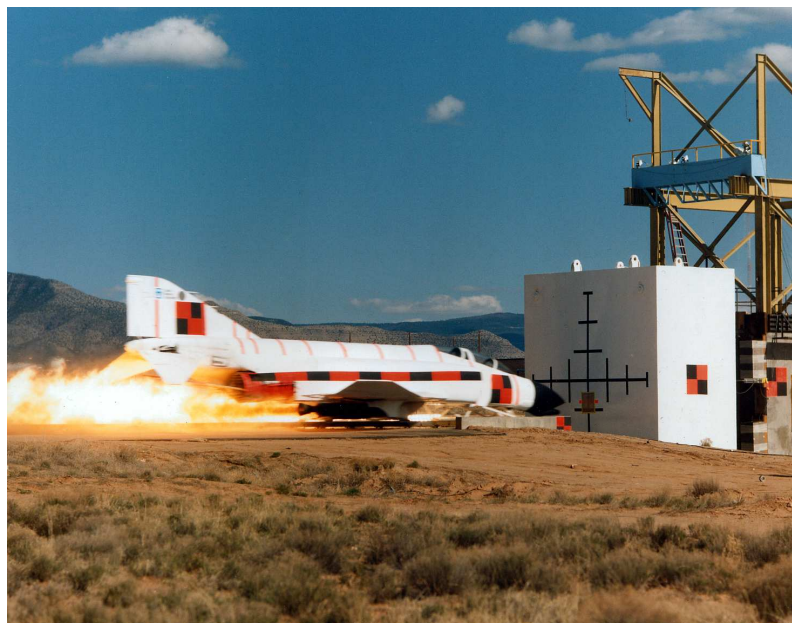
¹ Bq – bekerel – jednostka aktywności w układzie SI; 1 Bq = 1 rozpad/s; poza-układowa jednostka to curie, 1Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

- bariera 1 – sam materiał paliwowy, głównie w postaci ceramicznych elementów UO_2 , odporny na wysokie temperatury (temperatura w czasie pracy dochodzi do 2000°C) stanowi barierę dla produktów stałych; charakteryzuje się odpornością na wysokie temperatury (jego temperatura topnienia przed napromieniowaniem wynosi 2800°C , a po napromieniowaniu 2600°C) i wysoką zdolnością zatrzymywania produktów rozszczepienia w ziarnach UO_2 ; w czasie normalnej pracy z UO_2 wydostaje się mniej niż 1% produktów rozszczepienia; dopiero po stopieniu UO_2 z paliwa wydzielają się gazy szlachetne (około 100%), pierwiastki lotne w wysokich temperaturach (głównie jod, cez, tellur - około 80%) oraz stałe produkty w postaci aerozoli;
- bariera 2 - koszulka elementu paliwowego wykonana ze specjalnego stopu. Materiał na koszulkę musi być odporny na korozję, łatwy do obróbki, mieć możliwie mały przekrój czynny na pochłanianie neutronów. Koszulka elementu paliwowego, chroniąca przed zetknięciem wody z paliwem, powinna spełniać dwie podstawowe funkcje: umożliwić odprowadzenie ciepła wytwarzanego w paliwie do wody chłodzącej oraz uniemożliwić wydostanie się produktów rozszczepienia na zewnątrz; produkty te powinny zostać w szczelinie między paliwem a koszulką, natomiast wydzielać się tylko wówczas, gdy koszulka utraci szczelność;



Rys. 1. Poszczególne elementy zabezpieczenia przed wydostaniem się produktów promieniotwórczych z elektrowni jądrowej 1 – materiał paliwowy, 2 – koszulka elementu paliwowego, 3 – układ ciśnieniowy, 4 – układ kondensacji pary, 5 i 6 – obudowy bezpieczeństwa wewnętrzna i zewnętrzna

- bariera 3 - układ ciśnieniowy obiegu pierwotnego (PWR)² lub obiegu wytwarzania pary (BWR)³; barierą są ścianki obiegu odporne na pełne ciśnienie panujące w reaktorze, wykonane ze stali nierdzewnej i wielokrotnie kontrolowane podczas montażu i później w czasie eksploatacji;

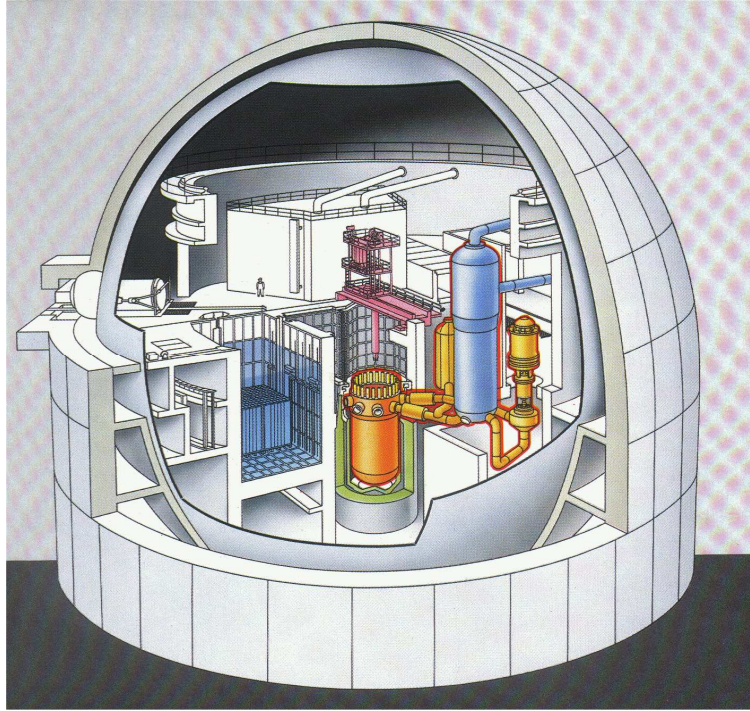


Rys. 2. Test z 1988 r., podczas którego samolot wojskowy F-4 Phantom uderzył z prędkością 215 m/s w ścianę betonową o grubości 3,66 m imitującą kopułę bezpieczeństwa reaktora jądowego. Samolot był wypełniony wodą a nie paliwem. Wynik testu wykazał, iż 96% wydzielonej energii kinetycznej zostało zużyte na uszkodzenie samego samolotu, podczas gdy tylko 4% na uszkodzenie konstrukcji betonu – maksymalna penetracja w głąb betonu wynosiła zaledwie 60 mm (dzięki uprzejmości Sandia National Laboratories)

- bariera 4 - układ dla kondensacji pary, umożliwiający redukcję ciśnienia;
- bariera 5 i 6 - obudowa bezpieczeństwa całego reaktora wraz z obiegiem pierwotnym; obudowę bezpieczeństwa stanowi wewnętrzny szczelny płaszcz stalowy (5), o grubości 30÷50 mm (projektowany na nadciśnienie do 0,5 MPa), oraz zewnętrzny budynek betonowy (6) z betonu wstępnie sprężonego o grubości 1÷2 m; bariera ta spełnia dwie podstawowe funkcje: ochrony reaktora i innych urządzeń przed oddziaływaniami zewnętrznymi (np. uderzeniem przez spadający samolot) – rys. 2 oraz niedopuszczania do niekontrolowanego uwalniania substancji promieniotwórczych do otoczenia w warunkach awaryjnych. Budynek bezpieczeństwa wykonuje się zwykle w postaci kuli, walca lub walca z półkolistą kopułą (rys. 3).

² PWR - **P**ressurized **W**ater **R**eactor – reaktor wodny ciśnieniowy.

³ BWR - **B**oiling **W**ater **R**eactor – reaktor wodny wrzący.



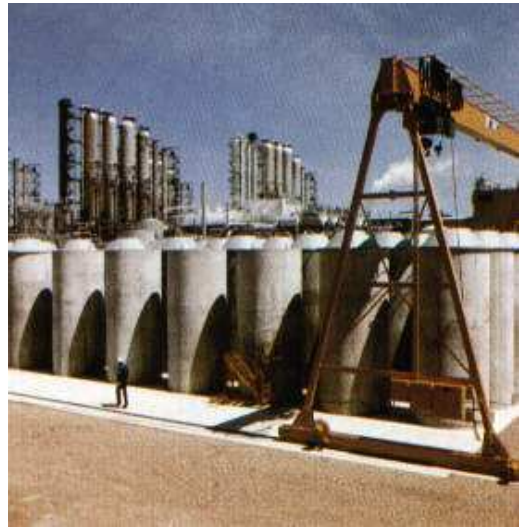
Rys. 3. Budynek bezpieczeństwa elektrowni jądrowej w kształcie kopuły

Wszystkie odpady promieniotwórcze - gazowe, ciekłe oraz stałe podlegają już na terenie elektrowni specjalnym procesom przetwarzania. Wymaga to znacznego rozbudowania różnych procesów technologicznych, jak i wielu dodatkowych obiektów, których nie ma np. w elektrowni konwencjonalnej. Wydobywające się z reaktora lotne substancje promieniotwórcze (wskutek rzeczywistych nieszczelności) są wychwytywane poprzez system filtrów. Pomimo tego część substancji promieniotwórczych przedostaje się do otoczenia poprzez wysoki komin, w sposób ściśle kontrolowany. Są to przede wszystkim substancje lotne, które trudno wychwycić i związać chemicznie, np. gazy szlachetne: izotopy ksenonu i kryptonu. Ilość i rodzaj substancji przenikających do atmosfery zależy od rodzaju reaktora jądrowego; np. w reaktorach moderowanych i chłodzonych wodą (PWR i BWR) promieniotwórcze skażenie pochodzi głównie od trytu ($H-3$), natomiast w reaktorach chłodzonych gazem CO_2 oprócz trytu, wytwarzane są znaczne ilości promieniotwórczego węgla $C-14$ oraz argonu $Ar-41$. Oszacowano, iż normalnie pracująca elektrownia jądrowa o mocy $1000 MW_e$ wprowadza rocznie do atmosfery nie więcej niż $5,9 \cdot 10^5 GBq$ gazów szlachetnych ($Kr-85$ i $Xe-133$) i $5,6 GBq$ jodu $I-131$. Aby zrozumieć znaczenie tych liczb, warto podać następującą informację. Zakładając maksymalnie dopuszczalne stężenia tych nuklidów promieniotwórczych w powietrzu, potrzebna do ich rozcieńczenia objętość powietrza wynosi $5,5 \cdot 10^{10} m^3$. Dla porównania objętość powietrza potrzebna, by rozcieńczyć do dopuszczalnego poziomu stężenie dwutlenku siarki wydzielanej w gazach odlotowych z elektrowni węglowej (bez instalacji odsiarczania spalin) takiej samej mocy wynosi $4,3 \cdot 10^{15} m^3$, a więc jest prawie 100 000 razy większa.

W czasie eksploatacji elektrowni jądrowej powstają odpady ciekłe (ścieki promieniotwórcze), głównie w wyniku upustów, zrzutów i przecieków (dopuszczalnych) z obiegu chłodzenia rdzenia reaktora.

Odpady stałe to przede wszystkim wypalone paliwo jądrowe a także zużyte jonity (wkłady filtrów jonitowych) o znacznej aktywności, odpady stałe palne (szmaty, papier, elementy

drewniane i in.) i niepalne (elementy wyposażenia elektrowni np. zużyte kanały i pręty sterujące, narzędzia skażone i in.



Rys. 4. Basen magazynowy w THORP (**T**hermal **O**xide **R**eprocessing **P**lant) w Sellafield (Wielka Brytania)

Rys. 5. Składowisko na sucho paliwa wypalonego z reaktorów CANDU przy elektrowni Bruce (Kanada)

Wyżej wymienione odpady, z wyjątkiem zużytego paliwa, zaliczamy do grupy nisko- i średnioaktywnych. Odpady te z elektrowni jądrowych stanowią objętościowo 95%, ale ich aktywność całkowita jest równa zaledwie 1% całkowitej aktywności powstającej w reaktorze. Są one gromadzone w beczkach dwustulitrowych i następnie przechowywane w magazynach zlokalizowanych na terenie każdej elektrowni lub w wspólnych magazynach dla wielu elektrowni. Składowanie odpadów nisko- i średnioaktywnych odbywa się w niektórych krajach (Stany Zjednoczone, Francja, Wielka Brytania) w płytkich składowiskach ziemnych. Odpady wysokoaktywne to przede wszystkim wypalone paliwo jądrowe, które zawiera 99% aktywności powstałej w reaktorze oraz odpady powstające przy przerobieniu wypalonego paliwa. Odpady o najwyższej aktywności powstają właśnie przy przerobieniu wypalonego paliwa. Odpady wysokoaktywne została się przed ich końcowym składowaniem, przy czym uważa się, że najkorzystniejsze jest wtopienie ich w osnowę szklaną. Jako wariant końcowego składowania, któremu przyznaje się pierwszeństwo, należy uznać wprowadzenie zestalonych odpadów na dużą głębokość w formacje stabilne pod względem geologicznym i hydrologicznym. Obecnie całe wypalone paliwo i wysokoaktywne odpady są przechowywane w wybudowanych na powierzchni przechowalnikach przejściowych. Należy jednak podkreślić, iż ilości odpadów wysokoaktywnych są znikomo małe; uważa się iż ilość odpadów wysokoaktywnych, jaka powstaje w związku z energią elektryczną wykorzystywaną dla potrzeb całego życia jednego człowieka stanowi pojemność jednej filiżanki od herbaty.

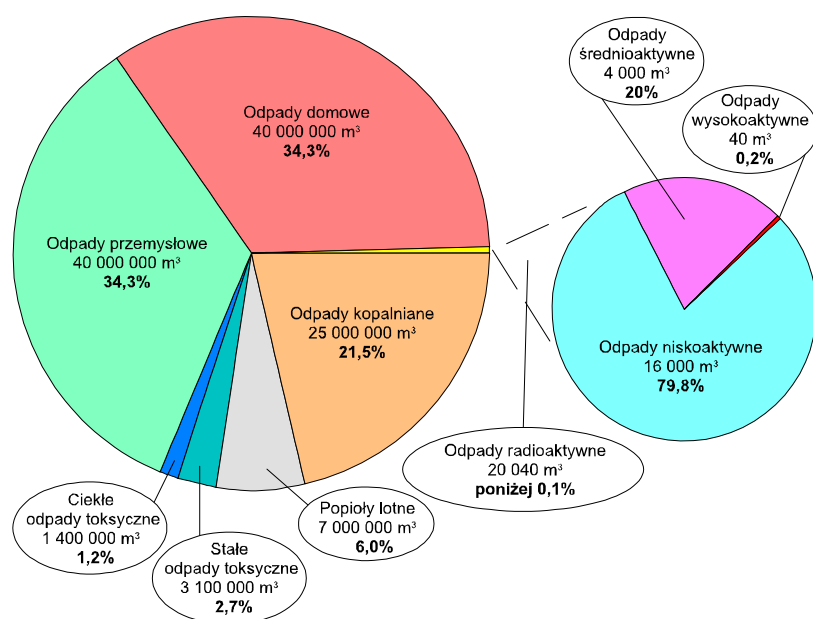


Rys. 6. Ilość odpadów wysokoaktywnych odpowiadająca zużyciu energii elektrycznej dla potrzeb człowieka w całym jego życiu

W tym miejscu należy zauważyć, iż energetyka jądrowa jest źródłem nie tylko odpadów związanych z jej eksploatacją (odpady eksploatacyjne i wypalone paliwo), ale również odpadów pochodzących z produkcji świeżego paliwa oraz likwidacją obiektów techniki jądrowej (nie tylko elektrowni jądrowej). Dla zobrazowania ilości powstałych odpadów promieniotwórczych na tle pozostałych odpadów, jakie wytwarza człowiek i gospodarka przedstawiono roczną objętość całkowitych odpadów na przykładzie Wielkiej Brytanii (rys. 7). Z ogólnej ilości odpadów ok. 116 mln m³ odpady promieniotwórcze stanowią jedynie 20 000 m³ (poniżej 0,02%), z czego niebezpieczne wysokoaktywne tylko 40 m³.

Cechą charakterystyczną, która przemawia na korzyść elektrowni jądrowej w stosunku do elektrowni spalających paliwa organiczne jest brak wytwarzania⁴ dwutlenku węgla (CO₂) – głównego sprawcy efektu cieplarnianego podczas eksploatacji. Dla przykładu warto podać, że produkcja 1 kWh energii w elektrowniach konwencjonalnych powoduje wytworzenie znacznych ilości CO₂: 860÷1290 g (z węgla kamiennego), 700÷800 g (z oleju) 480÷780 g (z gazu).

Przedostająca się obecnie do atmosfery ilość dwutlenku węgla na świecie jest szacowana na 20 miliardów ton rocznie. Ponadto elektrownia jądrowa nie wytwarza innych szkodliwych gazów odlotowych jak np.: CO, SO₂, NO_x. Szacuje się, iż tylko w samych Stanach Zjednoczonych z powodu zanieczyszczenia powietrza gazami odlotowymi z elektrowni konwencjonalnych umiera corocznie 30 000 ludzi.



Rys. 7. Roczna ilość wszystkich odpadów w Wielkiej Brytanii [2]

We wszystkich państwach budujących elektrownie jądrowe istnieją organizacje, zajmujące się nadzorowaniem bezpieczeństwa elektrowni jądrowych i wydające zezwolenia na ich budowę i eksploatację, tzw. urzędy bezpieczeństwa (dozoru) jądrowego.

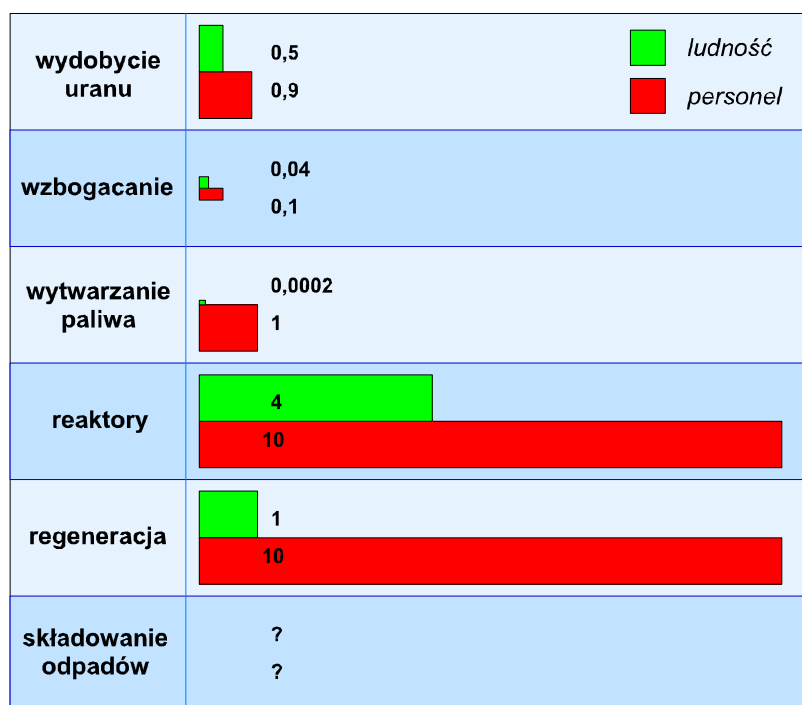
⁴ Uwzględniając nie tylko eksploatację elektrowni jądrowej, ale również wytwarzanie materiałów, surowców itp. (czyli cały cykl) energetyka jądrowa wnosi również CO₂, w ilości 69 g na 1 kWh energii elektrycznej.

Najlepszym sposobem działania dla zagwarantowania pełnego bezpieczeństwa byłoby niedopuszczenie do wystąpienia awarii. Działania przeciwwawaryjne w energetyce jądrowej obejmują właściwe projektowanie (zalecenia projektowe) wytwarzanie materiałów, budowę i montaż urządzeń (zalecenia wykonawcze i konstrukcyjne) oraz właściwą eksploatację (zalecenia proceduralne). To właśnie w związku z rozwojem energetyki jądrowej pojawiły się pierwsze na świecie zalecenia - normy dotyczące zapewnienia odpowiedniej jakości. Z biegiem czasu objęły one również inne dziedziny działalności człowieka; powstały systemy zapewnienia jakości, ujęte m.in. w znanej serii norm ISO 9000. Niezależnie od działań dotyczących zapobiegania awarii przewiduje się dodatkowe zabezpieczenia dla zminimalizowania jakiegokolwiek narażenia ludności mając na celu łagodzenie skutków awarii, jeśli taka zaistniała (wspomniane już wyżej bariery bezpieczeństwa), a także:

- zwielokrotnianie układów (redundancja) - układy istotne dla bezpieczeństwa obiektu projektuje się w postaci dwóch lub trzech równoległych analogicznych grup technologicznych;
- zróżnicowanie układów (dywersyfikacja) - układy są projektowane na różnej zasadzie działania;
- separację przestrzenną układów pełniących te same funkcje;
- automatyzację procesów ważnych dla bezpieczeństwa obiektu jądrowego.

Wybór lokalizacji elektrowni jądrowej następuje na podstawie raportu bezpieczeństwa lokalizacji, zawierającego m.in. charakterystykę terenu lokalizacji pod względem demograficznym, meteorologicznym, geologicznym, sejsmicznym, hydrogeologicznym, komunikacyjnym itp. oraz dane o napromieniowaniu ludności w otoczeniu elektrowni spowodowane eksploatacyjnym odprowadzaniem materiałów promieniotwórczych z elektrowni. W raporcie bezpieczeństwa są także rozpatrywane rodzaje awarii mogących wystąpić w elektrowni jądrowej. Dla każdego obiektu jądrowego określa się tzw. maksymalną awarię projektową (MAP), największą przewidywaną w projekcie, dla której na opanowanie skutków są zaprojektowane środki techniczne, zapewniające nie przekroczenie dopuszczalnych poziomów napromieniowania personelu i ludności. MAP i wszystkie awarie o potencjalnie mniejszych skutkach nazywa się awariami projektowymi, natomiast awarie o skutkach większych niż MAP nazywa się awariami nadprojektowymi. Obowiązkiem właściciela elektrowni jest opracowanie odpowiednich analiz bezpieczeństwa w kolejnych etapach projektowania, budowy, uruchamiania i eksploatacji oraz przekładanie ich do oceny i zatwierdzenia - jest to treścią raportu bezpieczeństwa. Współczesne reaktory są tak konstruowane, by żadna awaria projektowa nie prowadziła do przekroczenia ustalonych dla osób postronnych poziomów dawek przy ogrodzeniu obiektu, co oznacza brak konieczności wyznaczenia strefy ochronnej obiektu czy potrzeby podejmowania jakichkolwiek akcji poza strefą 800 m od elektrowni.

Ze względu na wymagania ochrony radiologicznej obiekty elektrowni jądrowej są tak rozplanowane, że dostęp do nich personelu eksploatacyjnego jest możliwy tylko po przejściu ścisłej kontroli tożsamości. Odnosi się to przede wszystkim do pomieszczeń reaktora. Także sam teren elektrowni jądrowej jest ogrodzony i skutecznie chroniony (dość liczny personel straży przemysłowej) przed możliwością wstępu osób niepożądanych.



Rys. 8. Porównanie oczekiwanej kolektywnej dawki promieniowania⁵ w osobo-Sv na 1 GW-rok wytworzonej energii elektrycznej dla poszczególnych etapów cyklu paliwowego [3]

Jeśli chodzi o skutki radiacyjne związane z wykorzystaniem energetyki jądrowej, to są one znikomo małe w porównaniu z ekspozycją od tła naturalnego czy skutkami innej działalności człowieka, w tym z zastosowań medycznych. Średnia światowa efektywna indywidualna dawka promieniowania, jaką otrzymuje człowiek wynosi 2,4 mSv⁶ ze źródeł naturalnych, a 0,6 mSv z zastosowań medycznych. Oczywiście istnieje duża rozpiętość dawek promieniowania jonizującego, jakie otrzymują poszczególni ludzie zarówno od źródeł naturalnych jak i z zastosowań medycznych. Wykorzystanie energetyki jądrowej dało w 1989 r. wkład do dawki zaledwie 0,01 mSv, czyli mniej niż 1% średniej dawki indywidualnej. Wymowne są np. dane pochodzące ze źródeł amerykańskich, według których ludność zamieszkała w promieniu do 80 km od elektrowni węglowej otrzymuje trzykrotnie większą dawkę promieniowania niż ludność zamieszkała w takiej okolicy, ale w pobliżu elektrowni jądrowej.

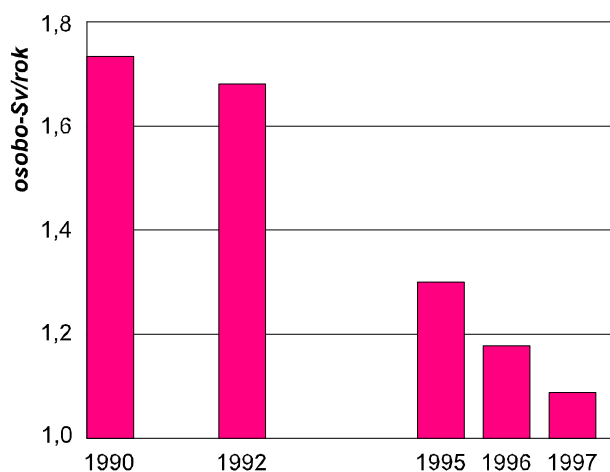
Ponieważ wielkości dawek promieniowania pochodzącego z energetyki jądrowej różnią się znacznie dla personelu (stanowi to tzw. narażenie zawodowe) i ludzi z otoczenia, należy je potraktować osobno. Elektrownie jądrowe stanowią tylko część całego jądrowego cyklu paliwowego. Na każdym etapie tego cyklu przedostają się do otoczenia pewne ilości substancji promieniotwórczych. Ocena wielkości dawek, jakie otrzymuje ludność w różnych etapach jądrowego cyklu paliwowego jest zadaniem dość złożonym. Jak widać na rys. 8 znaczny udział w wielkości zbiorowego efektywnego równoważnika dawki stanowi przerób wypalonego paliwa jądrowego.

Z kolei na rys. 9 przedstawiono roczne kolektywne dawki promieniowania dla personelu elektrowni z kilku wybranych lat. Odzwierciedlają ona efektywność ochrony radiologicznej,

⁵ Kolektywna dawka promieniowania - sumaryczna dawka otrzymana przez grupę ludzi.

⁶ Sv – siwert – jednostka narażenia organizmów żywych na promieniowanie jonizujące; 1 Sv = 100 mSv.

minimalizującej otrzymywane przez personel elektrowni dawki promieniowania. Ocenia się, iż średnia dawka roczna w narażeniu zawodowym dla pracowników elektrowni odpowiada temu, co otrzymują w ciągu roku załogi samolotów na skutek promieniowania kosmicznego.



Rys. 9. Porównanie rocznych kolektywnych dawek (średnie światowe) zawodowego napromieniowania pracowników elektrowni jądrowych [4]

Elektrownia jądrowa, stanowiąca z punktu widzenia fizyki silnik cieplny, musi zgodnie z prawami termodynamiki wydzielać do otoczenia ciepło odpadowe. Jest ono usuwane z elektrowni bądź w postaci pary wodnej ulatniającej się do atmosfery z chłodni kominowych (pracująca w zamkniętym obiegu chłodzenia), bądź poprzez zrzut podgrzanej wody do zbiorników wodnych np. mórz czy jezior (pracująca w otwartym obiegu chłodzenia). Aczkolwiek nie zaobserwowano np. negatywnego wpływu związanego z podwyższoną temperaturą w miejscu spustu wody chłodzącej do zbiorników wodnych, to warto podkreślić, iż w przypadku elektrowni jądrowej Forsmark (Szwecja) utworzono jedyne w świecie tego typu laboratorium – Biotest (rys. 10), w którym prowadzi się badania związane z wpływem podniesionej temperatury wody na różnego rodzaju procesy biologiczne.



Rys. 10. Jedyne w świecie laboratorium wodne Biotest w Szwecji

Biografia

1. Materiały informacyjne Uranium Information Centre
2. Wot Notes – Scottish Nuclear, East Kilbride, 1996 r.
3. Radiation, Doses, Effects, Risk – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1985 r.
4. Les centrales nucleaires dans le monde, CEA, Saclay, 2002 r.

Opole 5.11.2009 r.