

Jan URUSKI

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska

EKOLOGICZNE ASPEKTY EKSPLOATACJI SIŁOWNI OPALANYCH PALIWAMI
KONWENCJONALNYMI I SIŁOWNI JĄDROWYCH

Streszczenie. W artykule dokonano analizy skażeń środowiska powodowanych eksploatacją elektrowni i elektrociepłowni spalających paliwa konwencjonalne oraz skażeń emitowanych podczas eksploatacji siłowni jądrowych. Omówiono sposoby zabezpieczenia odpadów radioaktywnych oraz szkody ekologiczne wynikłe z ich emisji.

1. WSTĘP

W obecnym czasie jesteśmy świadkami szerokiej dyskusji prowadzonej przez ruchy ekologiczne w kraju i za granicą na temat wycofywania się z energetyki jądrowej w jej obecnej postaci, a rozwoju i doskonalenia konwencjonalnych źródeł energii.

W niniejszym artykule nie będą analizowane problemy dostępności paliw oraz trudnych w naszych warunkach ekonomicznych przesłanek opłacalności budowy jądrowych i konwencjonalnych źródeł energetycznych, poprzestano jedynie na dokonaniu oceny szkodliwości tych źródeł dla środowiska naturalnego, jako najbardziej kontrowersyjnej w toczących się dyskusjach.

W warunkach krajowych energetyka konwencjonalna spala głównie węgiel kamienny i brunatny; bilanse paliw szlachetnych wskazują, że trend ten zostanie w dalszym ciągu utrzymany. W związku z tym główny nacisk położono na omówienie skażeń powstających przy spalaniu węgla.

Spaleniu węgla towarzyszy emisja wielu szkodliwych dla otoczenia substancji, z których najbardziej toksyczne to: dwu- i trójtlenek siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, benzo-a-piren, popioły w postaci pyłów lotnych i granulatu.

W popiołach występują praktycznie wszystkie metale ciężkie, w tym promieniotwórcze izotopy tych metali, powstają węglowodory, aldehydy, fenol i inne trudne do unieszkodliwienia związki.

2. EMISJA PYŁÓW

Rozważając zanieczyszczenia pyłem emitowanym przez urządzenia kotłowe wyposażone w instalacje do odpylania, na podstawie znajomości unosu pyłu i całkowitej skuteczności działania urządzeń odpylających emisję pyłu można określić z zależności:

$$E_p = U \left(1 - \frac{\eta_c}{100}\right) \text{kg/h}$$

gdzie:

U - unos pyłu kg/h,

η_c - sprawność całkowita odpylacza.

Odnosząc tę emisję do ilości spalanego węgla, uzyskuje się współczynnik emisji pyłu e_p kg/kg.

Średnia wartość współczynnika emisji pyłu e_p na terenie GOP-u wynosi 0,02 kg/kg, zaś maksymalna 0,085 kg/kg.

Dopuszczalne wartości:

opad pyłu wynosi 250 t/km²rok,

stężenie pyłu zawieszzonego 22 g/m³.

Wartość dopuszczalna opadu pyłu jest na terenie GOP-u przekroczona na 70% obszaru, przy czym najwyższe przekroczenie jest sześciokrotne.

Wartość dopuszczalna stężenia pyłu zawieszzonego jest 10-krotnie przekroczona na 50% obszaru GOP-u, przy czym najwyższe przekroczenie jest 36-krotne.

3. ZANIECZYSZCZENIA SO₂

Emisję dwutlenku siarki obliczyć można na podstawie znajomości zawartości siarki w paliwie. Siarka w węglu występuje w postaci siarki ograniczonej i siarki pirytowej. W przypadku palenisk komorowych w obliczeniach emisji SO₂ przyjmuje się całkowitą zawartość siarki w węglu. Emisję SO₂ można więc obliczyć z zależności:

$$E_{SO_2} = 2B \frac{S}{100} \text{kg/h}$$

gdzie:

E_{SO_2} - emisja SO₂ kg/h,

B - zużycie paliwa kg/h,

S - zawartość siarki w %.

Odnosząc tę wielkość do zużycia paliwa w kotle, otrzyma się współczynnik emisji e_{SO_2} kg/kg.

Wartość współczynnika emisji e_{SO_2} waha się w granicach 0,05-0,09.

Dane powyższe odnoszą się do spalanych w kraju węgla kamiennych, przerosłów i węgla brunatnych, spalanych w kotłach nie wyposażonych w instalacje do odsiarczania spalin.

Pomiary stężenia SO_2 w powietrzu na terenie GOP-u wykazały, że obszar największego zanieczyszczenia SO_2 pokrywa się z obszarem o najsilniejszym zapyleniu. Wartość normatywna stężenia SO_2 wynosząca 64 g/m^3 przekroczona jest ponad dwukrotnie i wykazuje tendencje wzrostu.

4. ZANIECZYSZCZENIE TLENKAMI AZOTU

Określenie emisji tlenków azotu powstających w procesie energetycznego spalania paliw jest zadaniem trudnym, wynikającym z kinetyki tworzenia się tych tlenków zależnej od wielu parametrów procesu spalania.

Zagadnienie to w ramach niniejszego artykułu zostanie pominięte; ograniczy się tylko do podania zmierzonych w terenie wielkości zanieczyszczeń.

Z danych opracowania pomiarów wykonanych przez Instytut Kształtowania Środowiska w Katowicach wynika, że na terenie GOP-u i ROW-u średnioroczne stężenie tlenków azotu w przeliczeniu na N_2O_5 waha się w granicach od 32 g/m^3 (wartość normatywna) do 201 g/m^3 , przy czym obserwuje się wyraźny wzrost skażenia NO_x w okresie grzewczym.

5. ZANIECZYSZCZENIE CO

Na podstawie badań IKS w Katowicach stwierdzono, że średnioroczne ponadnormatywne stężenie CO (wartość normatywna 120 g/m^3) występuje na obszarze całego GOP-u osiągając wartość maksymalną 6000 g/m^3 .

Określając łączny wskaźnik emisji jako sumaryczne stężenie substancji szkodliwych w powietrzu atmosferycznym, odniesione do wartości dopuszczalnych tych stężeń, należy podkreślić, że nie powinien on przekraczać wartości 1,5%.

Według pomiarów IKS w Katowicach wskaźnik ten na terenie GOP-u przekracza 30, a dla poszczególnych substancji waha się w granicach 25-277.

Wnioski, jakie nasuwają się po analizie tych danych, prowadzą do stwierdzenia, że spalanie paliw konwencjonalnych w układach nie wyposażonych w instalacje do dokładnego odpylenia, odsiarczania i odazotowania spalin stanowi poważne zagrożenie środowiska naturalnego.

Należy pamiętać, że w analizie powyższej nie brano pod uwagę, ze względu na brak danych, oddziaływania szkodliwych składników popiołów przedostających się do wód gruntowych.

6. CHARAKTERYSTYKA SKAŻEŃ EMITOWANYCH PRZEZ ELEKTROWNIE JĄDROWE

Rozważone tu zostaną tylko skażenia powstające podczas eksploatacji siłowni z reaktorami wodnymi ciśnieniowymi proponowanych jako alternatywne źródło energii dla węgla w warunkach krajowych.

Odpady promieniotwórcze powstające w trakcie eksploatacji elektrowni jądrowych można podzielić w zależności od stanu skupienia i w zależności od aktywności, przy czym ten drugi podział wprowadza się wewnątrz pierwszego.

7. ODPADY GAZOWE

Bezpośrednim źródłem odpadów gazowych są radioaktywne składniki chłodziwa, wśród których rozróżnia się

- radioaktywne gazy szlachetne (izotopy xenonu, kryptonu, argonu),
- radioaktywne izotopy jodu (związki organiczne, aerozole),
- radioaktywne aerozole (izotopy cezu i strontu),
- długoterminowe izotopy radioaktywne trytu H3 i węgla C14.

Odpady te przedostać mogą się do powietrza atmosferycznego z powietrzem odsysanym z wentylacji pomieszczeń szczelnych obiegu pierwotnego oraz układów oczyszczania ścieków aktywnych.

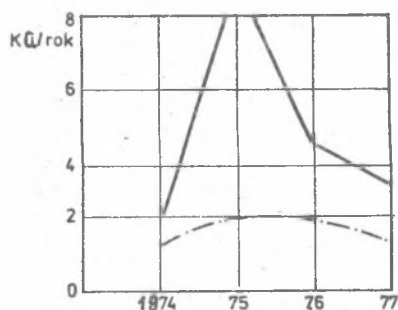
Odpady gazowe przepuszczane są przez system filtrów zatrzymujących pyły i aerozole (sprawność tych filtrów 95-99,5%), a następnie kierowane są do kolumn absorpcyjnych, gdzie są schładzane (-85°C) i oczyszczane. Oczyszczone gazy są następnie podgrzewane i za pośrednictwem dmuchaw usuwane do komina w ilości $3 \text{ m}^3/\text{h}$ na 1 blok 440 MW. Usuwane do komina gazy mogą zawierać śladowe ilości zawartych w skażonym powietrzu zanieczyszczeń.

Przykładowe uwolnienia gazowe przypadające na 2 bloki 440 MW w EJ Nowoworoneż i EJ Kozłoduj przedstawiono na rys. 1a, b, c.

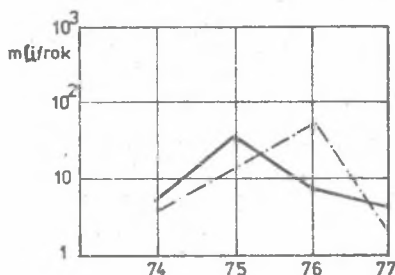
8. ODPADY CIEKŁE

Odpady ciekłe powstające podczas eksploatacji są to zazwyczaj przecieki lub upusty chłodziwa skażonego produktami rozszczepienia paliwa oraz produktami aktywacji zanieczyszczeń korozyjnych i naturalnych wody.

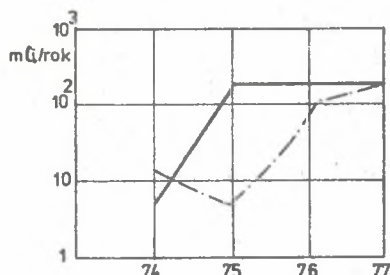
Produkty rozszczepienia przedostają się do chłodziwa na skutek uszkodzeń elementów paliwowych i decydują głównie o aktywności chłodziwa. Dwu-krotnie mniejszą aktywność powodują produkty korozji, w których zasadniczy udział mają produkty korozji stali austenitycznych. Udział naturalnych zanieczyszczeń i składników wody, z których największe znaczenie ma



a) Gazy szlachetne
(dla El. Nowoworonez w 1975 r.
wartość 24,8 KC1/rok)



b) J 131 w postaci aerozoli
(dla El. Kozłoduj w postaci
elementarnej)



c) aerozole radioaktywne
za wyjątkiem jodu

Rys. 1. Uwolnienia gazowe przypadające na 2 bloki WWER:
El. Kozłoduj - . . . - El. Nowoworonez - ———

- a) Gazy szlachetne (dla El. Nowoworonez w 1975 r. wartość 24,8 KC1/rok),
b) J 131 w postaci aerozoli (dla El. Kozłoduj w postaci elementarnej),
c) aerozole radioaktywne za wyjątkiem jodu

Fig. 1. Flue gas emission falling to two WWER-440 blocks of Power Stations
Kozłoduj - . . . - Nowoworonez - ———

- a) inert gas (for P.S. Nowoworonez in 1975 - 24,8 KC1/year); b - J 131 in
the shape of aerosol (for P.S. Kozłoduj in the elementary shape); c - ra-
dioactive aerosols except J 131

sód (powstaje silnie radioaktywny izotop Na16), jest ze względu na małą jego zawartość znikomo mały.

Obszerne dane odnośnie do aktywności chłodziwa dla reaktora WWER 440 zawiera [1] i [2].

Dalszym źródłem odpadów ciekłych mogą być przecieki z basenów paliwa i ścieki z instalacji oczyszczania.

Odpady ciekłe klasyfikuje się ze względu na aktywność właściwą jako:

- odpady o małej aktywności $10^{-9} - 10^{-5}$ Ci/dm³;
- odpady o średniej aktywności $10^{-5} - 1,0$ Ci/dm³;
- odpady o dużej aktywności $1,0$ Ci/dm³.

Odpady ciekłe oczyszczane są w instalacjach wyparnych oraz w wymiennikach jonitowych do końcowej ktywności 10^{-9} Ci/dm³.

Zatężone ścieki są zagęszczane, a koncentrat chroniony w zbiornikach ze stali nierdzewnej. Oczyszczony destylat z wyparek zbierany jest w zbiornikach kontrolnych i w zależności od wyników analizy radiochemicznej kierowany do zbiorników wody zdemineralizowanej lub do dalszego przerobu.

9. ODPADY STAŁE

Odpady stałe tworzone są z następujących źródeł:

- zestalone ciekłe odpady radioaktywne,
- radioaktywne elementy urządzeń i aparatury,
- materiały radioaktywne (zużyte wsady filtracyjne, skażona odzież itp.).

Są to zwykle odpady klasyfikowane w grupie niskiej aktywności. Odpady stałe klasyfikowane są ze względu na moc dawki w następujących grupach:

- odpady o małej aktywności $0,03 - ,0$ mR/h,
- odpady o średniej aktywności $0,03 - 1,0$ R/h,
- odpady o dużej aktywności $1,0$ R/h.

Odpady stałe zabezpieczane są i składowane na terenie elektrowni, a następnie w odpowiednio przygotowanych i zabezpieczonych składowiskach.

Odrębny problem stanowi zabezpieczenie wypalonego paliwa.

Obecnie elektrownie jądrowe pracują w cyklu paliwowym otwartym, w którym wypalone paliwo nie jest poddawane przeróbce, tylko składowane najpierw na terenie elektrowni, a następnie w odpowiednio przygotowanym składowisku. Problem ten w kraju nie jest jeszcze rozwiązany. Paliwo usuwane z pierwszych bloków jądrowych ma być przekazywane do składowania do ZSRR. W miarę rozwoju energetyki jądrowej należy jednakże stworzyć system pozwalający na długotrwałe przechowywanie wypalonego paliwa. Można tu skorzystać z doświadczeń szwedzkiej firmy SKB (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company). Wypalone paliwo w ilości 20-30% elementów paliwowych rocznie (w warunkach szwedzkich 250 ton/rok) przechowywane jest

w zbiornikach wypalonego paliwa na terenie elektrowni przez okres 1-8 lat, a następnie przetransportowywane do składowiska pośredniego "CLAB", w którym przechowywane ma być przez 30-40 lat. Składowisko to zlokalizowane 25 m pod powierzchnią ziemi ma postać bunkru o wymiarach 120 x 21 x 27 m i może pomieścić 7500 ton paliwa. Paliwo to składowane jest w zbiornikach z wodą przy pełnej kontroli dozymetrycznej i zapewnieniu warunków chłodzenia. Po upływie 30-40 lat, gdy aktywność tego paliwa zmaleje, zostaje ono przetransportowane do finalnego składowiska wypalonego paliwa SFL. Elementy paliwowe zabezpieczone w miedzianych kontenerach składowane tam są w bunkrach zlokalizowanych 500 m pod powierzchnią ziemi umieszczonych w stabilnych geologicznie formacjach skalnych. Czas składowania paliwa określa się na 500-1000 lat.

Odpady stałe średniej i niskiej aktywności są składowane w centralnym finalnym składowisku SFR zlokalizowanym 50 m poniżej dna morskiego wybudowanym również w stabilnych formacjach geologicznych. Sposób zabezpieczenia odpadów radioaktywnych przez SKB wydaje się na dzisiejszy poziom wiedzy zapewniać pełne ich bezpieczeństwo dla środowiska naturalnego. Koszt zabezpieczenia odpadów szacowany jest na 60% kosztu paliwa świeżego.

10. DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE ELEKTROWNI JĄDROWYCH

Wieloletnie doświadczenia eksploatacyjne elektrowni jądrowych z reaktorami wodnymi ciśnieniowymi wykazują, że uwolnienia gazowe są znacznie mniejsze od dopuszczalnych. Gęstość opadów radioaktywnych i stężenie radionuklidów w powietrzu są niższe lub utrzymują się na poziomie wartości tła naturalnego. Patrz tablica 1.

Tło naturalne uwarunkowane jest promieniowaniem kosmicznym i promieniowaniem naturalnych izotopów radioaktywnych występujących w powierzchniowej warstwie ziemi, atmosferze i wodzie. Dla obszaru Polski średnie wartości mocy dawek tła na przestrzeniach otwartych mieszczą się w granicach 60-160 mrad/rok.

Przy założeniu maksymalnych uwolnień gazów i aerozoli radioaktywnych z EJ całkowita aktywność powietrza nie przekracza $3,7 \cdot 10^{-7} \text{ Bq/m}^3$. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że nie stwierdzono przekroczenia wartości tła dla dowolnego nuklidu zarówno w powietrzu, wodzie, jak i w produktach żywnościowych.

Obliczenia dawki napromieniowania zewnętrznego ludności zamieszkującej tereny w otoczeniu EJ, uwarunkowane eksploatacją, są poniżej 1% dawki pochodzącej od tła naturalnego. (Dawka dla ludności zamieszkałej 12 km od EJ wynosi ok. $5 \cdot 10^{-3} \text{ mR/rok}$, co daje 0,01% dawki tła naturalnego).

Tablica 1

Wielkości odpowiadające tłu naturalnemu

Wielkość	Wartość aktywności właściwej
<u>Aktywność właściwa powietrza</u>	
całkowita aktywność	$2,22 \cdot 10^{-6} - 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ Bq/dcm}^3$
aktywność Sr 90 i Cs 137	$3,7 \cdot 10^{-8} \text{ Bq/dcm}^3$
<u>Aktywność gleby</u>	
Sr 90	$1,48 \cdot 10^9 \text{ Bq/km}^2$
Cs 137	$2,96 \cdot 10^9 \text{ Bq/km}^2$
<u>Aktywność roślin</u>	
Sr 90	
Cs 137	$3,7 \cdot 10^{-1} - 3,7 \text{ Bq/kg}$
J 131	
<u>Ryby</u>	
Sr 90	
Cs 137	$3,7 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/kg}$
<u>Woda</u> aktywność całkowita	
	$3,7 \cdot 10^{-3} \text{ Bq/kg}$
Moc dawki ekspozycyjnej	40 - 200 mR/rok

Mieszkańcy dużych miast otrzymują dawki na całe ciało, nie związane z eksploatacją elektrowni jądrowych, w granicach 0,3-0,5 rem. Ponadto przy rozważaniu skażeń od EJ należy pamiętać, że:

- średnia indywidualna moc dawki jest funkcją odległości od EJ; dla stref 1-10 i 100-1000 km moc dawki spada o dwa rzędy,
- w miarę wzrostu odległości od EJ napromieniowanie wewnętrzne zanika wolniej od napromieniowania od chmury gazów szlachetnych,
- promieniowanie trytu przy usuwaniu do wód odpadów ciekłych ma decydujący wpływ na moc dawki, lecz stanowi w warunkach polskich ok. 0,6% średniej dawki tła naturalnego.

W celu porównania zagrożenia promieniotwórczego pochodzącego od eksploatacji EJ można stwierdzić, że zmniejszenie o 1% zbędnych badań rentgenowskich w diagnostyce medycznej zmniejsza dawkę napromieniowania ludzi w większym stopniu niż działalność energetyki jądrowej.

11. AWARIE RADIOLOGICZNE

Eksploatacja EJ wiąże się niestety również z ryzykiem powstania awarii prowadzących do zagrożenia radiologicznego. Najpoważniejszą awarią jądrową, jaka miała miejsce od początku istnienia energetyki jądrowej, była awaria w Czernobylu. Poprzednio występujące awarie powodowały uwolnienia do atmosfery tak małych ilości substancji promieniotwórczych, że ich szkodliwy wpływ na zdrowie można pominąć. Poz. [3] podaje zestawienie sześciu poważnych awarii jądrowych, które spowodowały radioaktywne skażenie środowiska (patrz tablica 2), oraz opis ich przyczyn i przebiegu. Oczekiwane szkody późne rozumiane są jako zgony na skutek zwiększonej zachorowalności na raka i choroby popromienne.

Jak widać z tablicy, poza Czernobyłem najpoważniejsze skutki miała awaria w Widscale I. W pozostałych przypadkach substancje promieniotwórcze z uszkodzonego rdzenia zostały zatrzymane w systemach zabezpieczeń w budynku reaktora.

Z analiz przebiegu awarii wynika, że prawie we wszystkich przypadkach zostały one spowodowane przez kombinację niedociągnięć projektowych i błędów ludzkich. Błędy ludzkie wynikały nie tylko z niewystarczającego wyszkolenia i braku znajomości zagadnień, lecz także z braku lub niedostatecznej jakości oprzyrządowania, braku jasnych i łatwo zrozumiałych informacji. Nasuwa się wniosek o konieczności stosowania niezawodnych systemów blokad automatycznych zapewniających bezpieczne nastawy parametrów ruchowych, takich by uniemożliwiały wykonanie poza nimi niedozwolonych zabiegów na obiekcie.

Czernobyl wykazał konieczność projektowania reaktorów tak, by wykluczyć pod względem fizycznym możliwość autokatalitycznej reakcji łańcuchowej. Zaistniałe awarie muszą być przestrożą i źródłem doświadczeń dla budowy i eksploatacji dalszych elektrowni jądrowych.

12. TECHNICZNE ŚRODKI ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA JĄDROWEGO

Zagadnienia wpływu awarii na środowisko wiąże się ściśle ze środkami bezpieczeństwa, których zadaniem jest niedopuszczenie do wystąpienia sytuacji awaryjnych oraz maksymalne ograniczenie szkodliwych skutków awarii w przypadku jej zaistnienia.

W celu uniemożliwienia wydostania się substancji promieniotwórczych z elementów paliwowych i chłodziwa do pomieszczeń ruchowych i otoczenia stworzono system 4 barier zabezpieczających:

1. Bariera pierwsza - elementy paliwowe:

- siatka krystaliczna paliwa jądrowego,
- koszulka elementu paliwowego.

Tablica 2

Następstwa radiologiczne dla otoczenia awarii jądrowych wg [3]

Reaktor: Kraj: Data awarii:	NRX Kanada 12.12.1952	Windscale I W. Brytania 10.10.1957	SL-1 USA 03.01.1963	Lucens Szwajcaria 21.01.1969	TMI-2 USA 29.03.1979	Czernobyl RBMK 1000 ZSSR 25.04.1987
Max. dawka ind. mSv	?	tarczyca 160	0.1 w 10d	0,05	0,5	300-500
Dawka kolek- tywna osoboSv	?	$1,2 \cdot 10^3$?	pomijalnie	10^2	210^5 - 210^6
Oczekiwane szkody późne	?	13	?	0	1	3000-25000

2. Bariera druga - ścianki ciśnieniowe ograniczające obieg pierwotny (zbiornik reaktora, korpus pompy, rurociągi itd.).

3. Bariera trzecia - wentylacja - uzyskana przez:

- podciśnienie w pomieszczeniach technologicznych,
- filtrowanie powietrza usuwanego z pomieszczeń technologicznych.

4. Bariera czwarta - obudowa bezpieczeństwa.

Dalszymi barierami zwiększającymi skuteczność działania systemu bezpieczeństwa są:

- zamknięty układ gospodarki wodą aktywną,
- kontrolowany zrzut wód odprowadzanych na zewnątrz,
- kontrolowany zrzut po oczyszczeniu gazów wentylacyjnych,
- pośrednie obiegi chłodzenia,
- rozwinięty układ dozymetrii personelu.

Bezpieczeństwo jądrowe zapewniane jest w dwóch systemach:

- w systemie technologicznym obejmującym wszystkie urządzenia technologiczne, urządzenia wody chłodzącej, elektryczne, zasilania potrzeb własnych, AKPiA. System ten jest zaprojektowany tak, by prawdopodobieństwo uszkodzeń mogących doprowadzić do awarii sprowadzić do minimum;
- w systemie bezpieczeństwa, którego zadaniem jest zabezpieczenie systemu technologicznego, przeciwdziałanie powstawaniu awarii i ograniczenie ich skutków. W skład systemu bezpieczeństwa wchodzi:
 - układ zabezpieczeń reaktora,
 - układ zaworów bezpieczeństwa stabilizatora ciśnienia i wytwornic pary,
 - układ awaryjnego zasilania potrzeb własnych,
 - układ awaryjnego chłodzenia reaktora.

Zarówno system bezpieczeństwa, jak i system technologiczny zaprojektowany jest z wykorzystaniem zasad redundacji zapewniających jego niezawodne działanie. Są to zasady:

- bezpiecznego kierunku - sprowadzająca się do tego, by urządzenie zabezpieczone przy wypadnięciu jednego elementu zabezpieczającego mogło osiągnąć stan bezpieczny,
- logicznego wyboru - zwielokrotnienie układów zabezpieczających (struktury typu k z n) o minimalnym prawdopodobieństwie awarii,
- samokontroli,
- różnorodności - stosowanie urządzeń spełniających te same zadania, opartych jednak na różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych, zabezpieczone w ten sposób przed awariami systematycznymi,
- rozdzielenia przestrzennego - różna lokalizacja układów redundacyjnych,
- kontroli - wysokie wymagania jakościowe, badania zdatowności funkcjonalnej, rewizje.

Działanie systemu technologicznego i bezpieczeństwa realizowane jest w trzech zakresach:

I. Bezpieczeństwo podstawowe, osiągane dzięki następującym środkom:

- niezawodnemu ukształtowaniu urządzeń,
- wysokiej jakości wykonawstwa i montażu,
- szczegółowej kontroli przedeksploatacyjnej i eksploatacyjnej,
- dyscyplinie eksploatacji,
- utrzymaniu jakości przez planowe środki nadzoru i utrzymania urządzeń.

II. Zapobieganie awariom - środki korekcyjne, prawidłowa informacja o stanie obiektu, automatyzacja czynności związanych z bezpieczeństwem:

- sygnalizacja oswrzegawcza,
- pewne zwielokrotnione środki bezpieczeństwa w układzie technologicznym,
- układ automatycznego wyłączenia reaktora,
- zawory bezpieczeństwa.

III. Ograniczenie skutków awarii:

- skuteczne zapobieganie uszkodzeniom elementów paliwowych,
- utrzymanie zdadności do demontażu rdzenia reaktora,
- urządzenia lokalizujące awarię.

Projekt elektrowni jądrowej uwzględniać musi również możliwe katastrofy i gwałtowne oddziaływania zewnętrzne, gwarantując bezpieczeństwo przy jednoczesnym wystąpieniu w układach lub urządzeniach zakłóceń typu:

- pojedyncze zakłócenie w systemie technologicznym,
- istnienie nierozpoznanego defektu w systemie technologicznym,
- defekt w układzie zabezpieczeń,
- defekt w układzie lokalizacji zakłóceń.

13. WPŁYW EKSPLOATACJI ELEKTROWNI OPALANYCH WĘGLEM I JADROWYCH NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

Zagrożenie zdrowia człowieka może być oceniane za pomocą:

- liczby przypadków przedwczesnych zgonów,
- liczby osobo lat skrócenia życia,
- liczby osobo lat utraty zdolności do pracy.

Zagrożenie to należy rozważać w kategoriach zagrożenia radiacyjnego i pozaradiacyjnego.

Porównanie liczby zgonów [5] spowodowanych uwolnieniami radioizotopów przeprowadzono na podstawie oceny bezprogowego działania promieniowania i liniowej zależności między dawką a skutkiem biologicznym.

Do porównania przyjęto EJ o mocy 1400 MW i elektrownię konwencjonalną o mocy 1200 MW.

Dane dotyczące składników radioaktywnych węgla radzieckich i polskich zestawiono w tabelicy 3, a oszacowanie liczby dodatkowych zgonów (z przyczyn nowotworów) przypisywanych uwolnieniom radioaktywnym z EJ i EK zestawiono w tabelicy 4.

Tabela 3

Zawartość składników radioaktywnych w węglu i popiele lotnym

Radioizotop	Węgiel doniecko-kuźniecki pCi/t	Popioły z węgla don.-kuźnieck. pCi/t	Węgiel jaworznicko-mikołowski pCi/g	Popioły i żużel z węgla jaworznicko-mikołowskiego pCi/g
Ra 226	0,5-2,3	5,0	0,07-0,56	0,34-6,75
Ra 223	-	3,3	-	-
Th 232	-	2,3-8,7	0,03-0,64	0,21-3,60
K 40	-	46-60	0,24-3,96	4,3-22,3
Rn 222	0,3-2,0	-	-	-
Pb 210	0,2-14	12	-	-

Tabela 4

Dodatkowa liczba zgonów spowodowanych nowotworami zgonów/rok GW wg [5]

Warunki oszacowania	EJ	EK
W pobliżu elektrowni na 10^6 mieszkańców	$3,4 \cdot 10^{-2}$	3,4
Dla ludności z terenów oddalonych od elektrowni (ZSRR)	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$10,9 \cdot 10^{-2}$

Z zestawienia tego (brak danych dla Polski) wynika, że:

- zagrożenie radiacyjne każdej z rozpatrywanego typu elektrowni jest znikomo małe,
- dla ludności zamieszkałej w pobliżu EJ zagrożenie jest 70 razy mniejsze niż zagrożenie w pobliżu elektrowni konwencjonalnej, a dla ludności zamieszkałej w oddaleniu od EJ, 30 razy mniejsze niż z powodów elektrowni konwencjonalnej,
- w warunkach polskich należałoby uwzględnić dane z węgla turowskich jako najbogatszych w radioizotopy.

Analizując wpływ emisji nieradioaktywnych, można stwierdzić, że SO_2 zwiększa częstość występowania chorób dróg oddechowych osób zamieszkałych w pobliżu EK. Według danych amerykańskich dodatkowa liczba zgonów przypisywanych emisji SO_2 szacowana jest na 27,3/rok pracy elektrowni konwencjonalnej o mocy 1 GW el.

Wpływ szkodliwości popiołów (wg danych USA) w liczbach zgonów w latach 1959-1961 na 100 tys. mieszkańców przedstawia się następująco:

- 40 zgonów/rok przy stężeniach poniżej 80 g/m^3 ,
- 100 zgonów/rok przy stężeniach poniżej $100-135 \text{ g/m}^3$,
- 130 zgonów/rok przy stężeniach ponad 135 g/m^3 .

Stężenie benzopirenu równe $0,01 \text{ g/100 m}^3$ może spowodować rocznie do 100 dodatkowych zgonów na raka płuc na 10^6 mieszkańców.

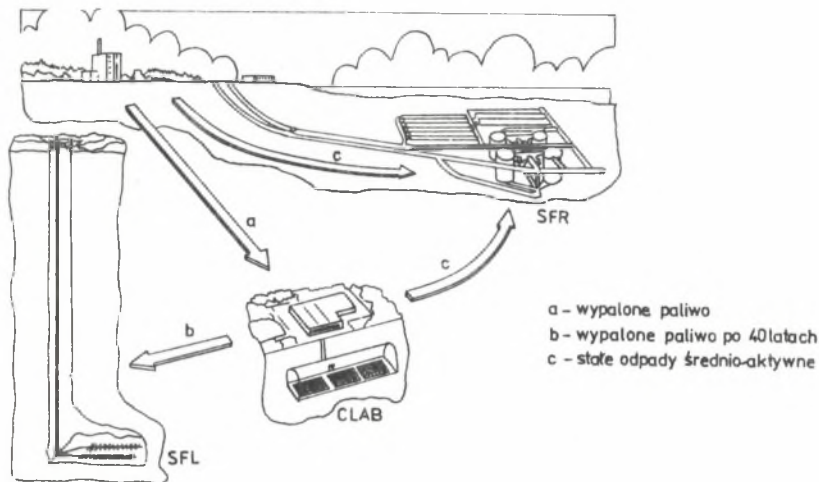
Zestawienie porównawcze całkowitego zagrożenia zdrowia wynikające z eksploatacji elektrowni jądrowych i konwencjonalnych wg [8] przedstawia tabela 5.

Tabela 5

Ocena zagrożenia	Zagrożenie całkowite	
	EJ	EK
Liczba przypadków przedwczesnych zgonów	1	20-600
Skrócenie życia osobolat	32	$(0,06-1,8)10^4$
Utrata zdolności do pracy osobolat	17	$(0,4-12) 10^3$

Analiza danych powyższego zestawienia wykazuje stosunkowo małe zagrożenie zdrowia związane z eksploatacją normalną EJ.

Należy się spodziewać, że upowszechnienie instalacji do odsiarczania, odazotowania i dokładnego odpylania spalin oraz metod zabezpieczenia popiołów zmniejszy szkodliwość dla środowiska również EK. Należy jednak pamiętać, że instalacje te zbliżą pod względem nakładów inwestycyjnych koszt elektrowni konwencjonalnych i jądrowych

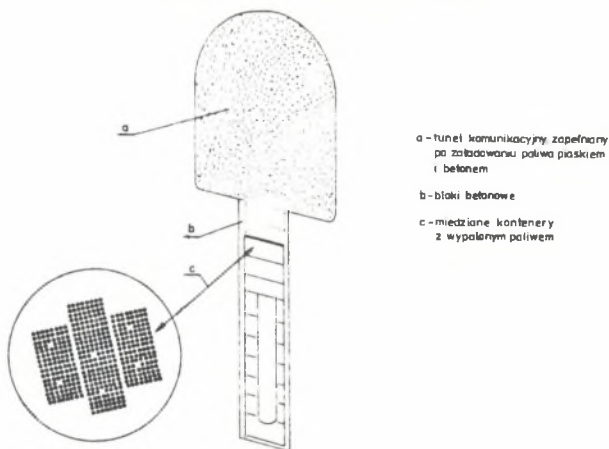


Rys. 2. Obieg odpadów radioaktywnych stałych w szwedzkich elektrowniach jądrowych

a - wypalone paliwo, b - wypalone paliwo po 40 latach, c - stałe odpady średnio-aktywne

Fig. 2. Cycle of radioactive solid wastes in swedish nuclear power stations

a - spent nuclear fuel, b - spent nuclear fuel after 40 years, c - solid medium level nuclear wastes



Rys. 3. Przekrój przez bunkier finalnego składowiska wypalonego paliwa (SFL)

a - tunel komunikacyjny, wypełniany po załadowaniu paliwa piaskiem i betonem, b - bloki betonowe, c - miedziane kontenery z wypalonym paliwem

Fig. 3. Cross-section of the deposition hole of the final repository for spent nuclear fuel SFL

a - the communication tunnel, backfilled with a mixture of sand and bentonite after loading spent nuclear fuel, b - bentonite blocks, c - copper canisters filled with spent nuclear fuel

LITERATURA

- [1] Szargut J., Łukaszek W. i inni: Studium możliwości i celowości budowy jądrowych źródeł ciepła dla potrzeb woj. katowickiego. Prace badawcze ITC Pol. Śl. Gliwice 1982.
- [2] Krzystyniak A.: Klasyfikacja i źródła odpadów promieniotwórczych. PTJ poz. 594, Warszawa 1976.
- [3] Wolters J.: Aufgetretene Unfälle mit Kernschaden. tł. Dąbrowski C. PTJ nr 2-5 s. 103-127, Warszawa 1987.
- [4] Ackerman G. i inni: Eksploatacja elektrowni jądrowych. WNT, Warszawa 1987.
- [5] Knizanikow V.A., Barchuddarow R.M.: Srawnitielna ocenka radiacionnoj opasnosti dla nasielenija ot wybrosow w atmosferu tepłowych i atomnych elektrostancij. Atomnaja Energia IX s. 191-195, Moskwa 1977.
- [6] Hajdus D.: Kompleksowe badania polskich węgla kamiennych przeznaczonych do zgazowania. Koks, smoła, gaz VII-VIII s. 159-164, 1981.
- [7] Hycnar J.: Problemy związane z zagospodarowaniem popiołów lotnych i żużli z energetyki zawodowej. Mat. konf. nauk. PAN, Jabłonna 1982.
- [8] Raber N.S.: Jadernaja energetika, czełówek i okruzzajuszczaja srieda. Energoizdat, Moskwa 1981.
- [9] Jędrzejowski J.: Procesy przemysłowe a zanieczyszczenie środowiska. PWN, Warszawa 1987.
- [10] Prace Instytutu Energii Atomowej dla potrzeb Elektrowni Jądrowej Żarnowiec i rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Mat. konf. nauk.-techn., Otwock-Swierk 1988.
- [11] SKB Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company - Materiały firmowe.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Wróblewski

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ИСПОЛЬЗУЮЩИХ
ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОПЛИВА И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Р е з ю м е

В статье проведен анализ заражений окружающей среды вызванных эксплуатацией электростанции и тепловых электроцентралей работающих на органических топливах и заражений от эксплуатации атомных электростанции.

Рассмотрены средства хранения радиационных отходов и экологические вреды от эмиссии этих отходов.

EKOLOGICAL ASPECTS OF EXPLOITATION OF POWER STATIONS USING ORGANICAL FUEL AND NUCLEAR POWER STATIONS

S u m m a r y

The analysis of pollutions caused by exploitation of coal-fired power stations and heat power stations, and pollutions emitted during exploitations of nuclear power stations are presented.

There have been also discussed methods of protecting radioactive wastes and ecological harmes caused by emission of this wastes

