

Dariusz WOŹNIAK, Leon KUKIEŁKA

ODPADY NIEBEZPIECZNE GRUPY 7

Streszczenie

W artykule przedstawiono niektóre aspekty związane z energetyką jądrową i jej bezpieczeństwem. Przeanalizowano m.in. podstawowe warunki bezpiecznego składowania i przechowywania substancji i odpadów promieniotwórczych, oraz ich bezpiecznego transportu. Analizowane zagadnienie zilustrowano na wykresach i rysunkach.

WSTĘP

Energetyka jądrowa ogólnie ujmując to całokształt przedsięwzięć organizacyjno-technicznych związanych z uzyskiwaniem na skalę przemysłową energii z rozszczepienia [12] ciężkich jąder pierwiastków (głównie uranu 235). Energia ta pozyskiwana jest w elektrowniach jądrowych (reaktor jądrowy), w reaktorach służących do napędu okrętów podwodnych, w zasilaczach izotopowych itd.

Energetyka jądrowa obejmuje szereg zagadnień związanych z pozyskiwaniem uranu, jego przeróbką oraz składowaniem i utylizacją odpadów. Tematem najbardziej kontrowersyjnym z zakresu bezpieczeństwa energetyki jądrowej są problemy związane z powstawaniem, transportem i składowaniem odpadów promieniotwórczych [1, 2, 10, 11], jak również zagrożenia występujące przy produkcji materiałów rozszczepialnych oraz eksploatacji elektrowni jądrowej.

W Polsce nadzorem nad tymi zagadnieniami zajmuje się Państwowa Agencja Atomistyki, bezpośrednio zaś Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) w Różanie k. Świerku, gdzie funkcjonuje również od 1961 r. składowisko.

1. RUDY URANU

Do zasilania elektrowni jądrowych trzeba dostarczyć paliwo, którym najczęściej jest uran. Uran otrzymuje się z odpowiednio przerobionych technologicznie rud uranowych [13].

Wydobyta w kopalniach lub odkrywkach ruda najpierw musi zostać poddana obróbce mechanicznej (typu kruszenie, mielenie) i chemicznej (typu ługowanie). W produkcie finalnym otrzymuje się ok. 70% koncentrat uranowy. Czysty uran naturalny składa się w 0,7% z rozszczepialnego U-235, pozostałe 99,3% stanowi nieco cięższy, nierozszczepialny U-238 [14].

2. MONITOROWANIE PRACY REAKTORA

Utrata kontroli nad reaktorem może spowodować szybkie zwiększenie się mocy reaktora i nadmierne wydzielanie ciepła, którego nie będzie mogło odprowadzić nawet włączenie awaryjnego systemu chłodzenia. W konsekwencji następuje szybki wzrost temperatury rdzenia. W pierwszym etapie elementy rdzenia rozszerzą się termicznie, w drugim etapie ulegną stopieniu lub zniszczeniu poszczególne elementy konstrukcyjne rdzenia, a uran w zetknięciu

z wodą znacznie się palić. Wynikiem może być pożar a w konsekwencji wyrzucenie do atmosfery lub gleby substancji radioaktywnych [4, 5].

Reaktor jądrowy jest wyposażony w odpowiednie zabezpieczenia na wypadek pożaru reaktora. Najczęściej są to:

- betonowe obudowy typu bunkrowego, którego zadaniem jest zatrzymanie w swym wnętrzu uwolnionych w czasie pożaru substancji radioaktywnych,
- systemy automatyczne sterujące przejściem reaktora w stan podkrytyczny (zwolnienie procesu powielania neutronów) w pierwszym etapie podgrzania rdzenia i ewentualnego wyparowania chłodziwa,
- inne niezależne źródła energii elektrycznej (nie tylko generator poruszany przez reaktor) niezbędne do sterowania pracą reaktora.

W reaktorach dodatkowym zabezpieczeniem jest sam moderator. Jeśli moderator jest pomiędzy prętami paliwowymi reakcja będzie zachodziła. W wyniku jakiegokolwiek nieprzewidzianej sytuacji np. pomyłki obsługi, trzęsienia ziemi itd. moderator jest automatycznie usuwany, co powoduje zatrzymanie reakcji.

W przypadku reaktorów wodno-ciśnieniowych moderatorem jest woda a bezpieczeństwo takiego reaktora wynika z fizyki pracy reaktora. W razie awarii nie ma możliwości by woda nadal pełniła rolę moderatora, ponieważ albo wypłynie albo zmieni stan skupienia na parę. Neutrony nie będą już uzyskiwać efektu spowolnienia. Nie dojdzie do niekontrolowanego wzrostu mocy reaktora, czyli naturalnie ustanie reakcja łańcuchowa.

2.1. Substancje promieniotwórcze

W warunkach normalnej pracy elektrowni każdy reaktor wytwarza substancje promieniotwórcze. Ważnym aspektem jest tu staranne odizolowanie reaktora od otoczenia. W typowych reaktorach energetycznych najczęściej istnieją poniższe systemy zabezpieczające przed uwalnianiem się substancji radioaktywnych [17]:

- koszulki, w których umieszczone są pręty paliwowe zabezpieczające paliwo przed ingerencją substancji chłodzącej i niepozwalające na ulatnianie się z pręta produktów rozszczepialnych,
- stalowy zbiornik, stanowiący zabezpieczenie rdzenia reaktora,
- betonowy bunkier, w którym umieszczony jest reaktor,
- betonowa konstrukcja budynku reaktora.

Wydobywające się z reaktora lotne substancje promieniotwórcze wychwytywane są przez system filtrów i pułapek. Zabezpieczeniem są również wymienniki ciepła pozwalające na przedostanie się substancji radioaktywnych z pierwotnego obiegu do chłodni kominowych.

Mimo tych wszystkich zabezpieczeń, część substancji radioaktywnych przedostaje się do otoczenia. Ilość i rodzaj takich substancji radioaktywnych przenikających do atmosfery zależy od typu reaktora.

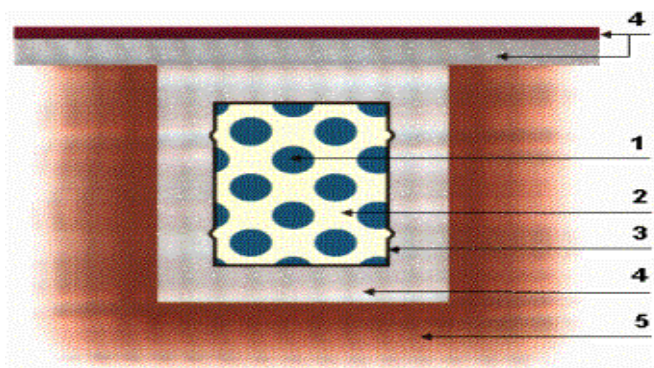
2.2. Odpady promieniotwórcze

Problemy techniczne i zagrożenia dla ludzi i środowiska związane z gospodarką odpadami promieniotwórczymi [1, 6, 7, 10] są najbardziej niebezpiecznym problemem energetyki jądrowej. Najczęściej odpady promieniotwórcze są to wytwarzane i niewykorzystywane substancje promieniotwórcze. W energetyce jądrowej można wyróżnić cztery główne źródła pochodzenia odpadów promieniotwórczych (nie wliczając zastosowań militarnych energii jądrowej):

- kopalnie rud uranu oraz zakłady przerobu tych rud,
- produkcja paliwa reaktorowego oraz przerób paliwa wypalonego,
- eksploatacja reaktorów energetycznych i badawczych,
- likwidacja reaktorów jądrowych.

3. SKŁADOWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Właściwe gospodarowanie odpadami promieniotwórczymi [10] może skutecznie zabezpieczyć człowieka i środowisko – obecnie, a także i w przyszłości przed szkodliwym wpływem emitowanego przez nie promieniowania jonizującego. Dlatego też podczas unieszkodliwiania i składowania odpadów obowiązują poniższe zasady: dążenie do technicznego minimalizowania ilości powstających odpadów, odpowiednia i ścisła segregacja, zmniejszanie objętości, kształtowanie i pakowanie w taki sposób, aby uzyskać chemiczną i fizyczną ich stabilizację, odpowiednie składowanie odpadów w miejscach o właściwej strukturze geologicznej i stosowanie wszystkich technologii oraz barier, które skutecznie izolują odpady od człowieka i środowiska – rys. 1.



Rys. 1. Bariery ochronne pojemnika z odpadami promieniotwórczym

Źródło: [20].

Najczęściej stosowane są następujące bariery ochronne:

- chemiczna, którą stanowią trudno rozpuszczalne związki chemiczne izotopów promieniotwórczych, powstające w procesie przerobu i oczyszczania radioaktywnych ścieków,
- fizyczna, która polega na zmieszaniu zatężonych już odpadów ze spoiwem i nadaniu im formy stabilnego ciała stałego. Zapobiega to rozsypaniu, rozproszaniu, rozpyleniu i wymywaniu substancji promieniotwórczych. Najczęściej stosowanymi spoiwami są: asfalt, cement i tworzywa sztuczne,
- konstrukcja inżynierska typu opakowanie, np. stalowy bęben lub betonowy pojemnik, który zabezpiecza odpady przed uszkodzeniami mechanicznymi i kontaktem z wodą. Stanowi również osłonę biologiczną, ponieważ osłabia promieniowanie,
- konstrukcja inżynierska typu betonowa konstrukcja składowiska wraz z impregnującą warstwą bitumiczną, która chroni pojemnik z odpadami przed wpływem opadów atmosferycznych, wilgocią i korozją,
- naturalna wynikająca ze struktury geologicznej terenu, na którym zlokalizowano składowisko. Teren taki powinien być m.in. asejsmiczny, niezatapialny i wyłączony z działalności gospodarczej. Jest to bardzo ważne, ponieważ właściwa struktura geologiczna i warunki hydrogeologiczne uniemożliwiają migrację radionuklidów, zapobiegają ich rozprzestrzenianiu w glebie oraz przenikaniu substancji promieniotwórczych do wód gruntowych i powierzchniowych.

Odpady pochodzące z urządzeń atomowych pracujących w elektrowniach jądrowych czy zakładach przerobu wykazują różne stopnie zagrożenia. Słabo i średnio aktywne odpady w postaci stałej lub ciekłej są najpierw na drodze stężania, ściskania lub spalania redukowane do możliwie najmniejszej objętości. Następnie zostają zacementowane w beczkach. Szczególna ostrożność wymagana jest przy odpadach wysoko aktywnych. Są nimi przede wszystkim rozpuszczone w kwasie azotowym produkty rozpadu. Dają one 99% promieniowania wszystkich odpadów promieniotwórczych.

Dla tej grupy odpadów opracowano specjalny proces zeszkliwania. Wysoko aktywne roztwory najpierw się zagęszcza i chemicznie przetwarza. Następnie w temperaturze 1150°C stapia się je z proszkiem szklanym, tworząc z nich nierozłączny składnik szkliwa, którym wypełnia się grubościenną beczkę ze stali nierdzewnej. Tak przygotowane odpady magazynuje się w sposób bezpieczny bez ograniczeń czasowych.

Odpady promieniotwórcze składowane są na specjalnych składowiskach, często pod ziemią, które zostały umieszczone w takim klimacie i tak zbudowane, by ewentualne przedostawanie się substancji radioaktywnych do otoczenia (zwłaszcza wód gruntowych) było niemożliwe. Beczki z odpadami słabo aktywnymi umieszcza się w wydrążonych w ziemi komorach a następnie uszczelnia się komorę.

Odpady średnio aktywne przechowywane są w oddzielnych komorach i wymagają wzmożonej ostrożności. Natomiast odpady wysoko aktywne umieszcza się w otworach wiertniczych, które następnie są czopowane. Miejsca składowania takich odpadów są stale monitorowane. Dość często stosowano w poprzednich latach (mimo zaprzeczeń czy niedomówień) zatapianie przez niektóre państwa, beczek i bloków z odpadami w morzach i oceanach. Jednym z trwałych czasowo rozwiązań jest złożenie takich odpadów w podziemnych sztolniach górniczych lub solnych. Pokłady soli kamiennej mogą spełniać rolę mogilników [14].

4. TRANSPORT SUBSTANCJI NIEBEZPIECZNYCH

Odpady promieniotwórcze [6, 11] z elektrowni jądrowych do miejsc składowania czy do zakładów przerobu paliwa jądrowego transportowane są: samolotami, koleją, samochodami i statkami [2, 4]. Większość transportowanych przesyłek zawiera bardzo małe ilości substancji promieniotwórczych. Materiały promieniotwórcze przewożone są w różnych opakowaniach, gwarantujących integralność przesyłki w czasie transportu i określoną w przepisach osłonę przed promieniowaniem.

Do przewożenia odpadów skonstruowano specjalne pojemniki zapewniające całkowite ekranowanie niebezpiecznych materiałów od otoczenia nawet w przypadku katastrofy – fot. 1. Typ opakowania, w jakim przewozi się materiał promieniotwórczy zależy od rodzaju materiału, jego objętości, ilości, postaci fizycznej i aktywności. Dlatego też poszczególne typy opakowań muszą być inaczej skonstruowane i muszą posiadać inne parametry wytrzymałościowe.



Fot. 1. Kontener do przewozu odpadów promieniotwórczych

Źródło: [20].

Kontenery zawierające materiały promieniotwórcze muszą być opatrzone specjalnymi znakami pozwalającymi na identyfikację zagrożenia jakie mogą wywołać. Regulują to odpowiednie przepisy prawne.

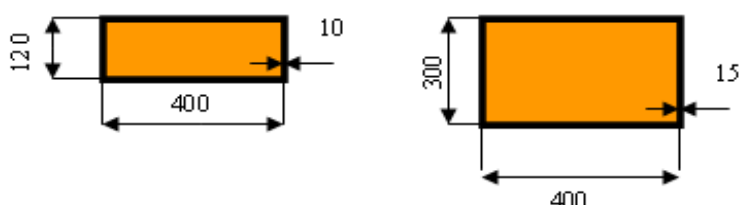
W Polsce obowiązuje umowa europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR [11]). Zaliczono w niej tego typu materiały do grupy 7, pod nazwą „Materiały promieniotwórcze” i określono sposób ich oznakowania przy transporcie drogowym. Są one oznaczane czterema cyframi, których przykłady przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Przykładowe oznaczenia niebezpiecznych substancji promieniotwórczych [5]

Kod rozpoznawczy UN	Nazwa materiału
2910	Materiały promieniotwórcze, wyłączona przesyłka - materiały w ograniczonej ilości
2911	Materiały promieniotwórcze, wyłączona przesyłka - przyrządy lub przedmioty przemysłowe
2919	Materiał promieniotwórczy, przewożony na specjalnych warunkach, nie rozszczepialny lub rozszczepialny wyłączony
2977	Materiał promieniotwórczy, sześćfluorek uranu, rozszczepialny
3331	Materiał promieniotwórczy przewożony na warunkach specjalnych, rozszczepialny

Źródło: [5].

Na rys. 2 przedstawiono podstawowe oznakowanie pojazdów przewożących materiały niebezpieczne w postaci znormalizowanych, atestowanych tablic koloru pomarańczowego z czarnymi obwódkami, które mocuje się bezpośrednio z przodu i tyłu pojazdu. Pojazdy przewożące materiały tej grupy oznakowane są dodatkowo nalepkami ostrzegawczymi, jak na rys. 3. Istnieje tu ścisły wymóg nadawania do przewozu danego materiału radioaktywnego czy promieniotwórczego w odpowiednim opakowaniu jako sztuki przesyłki i dokładnego zaszeregowania do poniższych kategorii: I – BIAŁEJ, II – ŻÓLTEJ, lub III – ŻÓLTEJ z uwzględnieniem stopnia aktywności i promieniotwórczości przewożonego materiału.



Rys. 2. Oznakowanie pojazdów przewożących materiały niebezpieczne

Źródło: [24].



Rys. 3. Nalepki ostrzegawcze klasa 7 – materiały promieniotwórcze

Symbolika i znaczenie: **A** – ostrzeżenie przed materiałem promieniotwórczym w cysternie, kontenerze i sztuce przesyłki kategorii I – BIAŁEJ, stwarzającej w przypadku uszkodzenia sztuki (cysterny) niebezpieczeństwo nadmiernego napromieniowania; **B** – ostrzeżenie przed materiałem promieniotwórczym, cysternie, kontenerze i sztuce przesyłki kategorii – II – ŻÓLTEJ, stwarzającym przy uszkodzeniu sztuki (cysterny) niebezpieczeństwo nadmiernego napromieniowania, nawet z pewnej odległości. Nie należy trzymać takiej sztuki przesyłki w pobliżu przesyłek zaopatrzonych w napis „FOTO”, lub zawierających niewywołanie błony (klisze fotograficzne); **C** – ostrzeżenie przed materiałem promieniotwórczym, cysternie, kontenerze i sztuce przesyłki kategorii – III – ŻÓLTEJ, stwarzającym takie samo niebezpieczeństwo jak materiał znajdujący się w sztuce przesyłki z nalepką B; **D** – ostrzeżenie przed materiałem promieniotwórczym stwarzającym niebezpieczeństwo nadmiernego napromieniowania dla zdrowia, nawet z odległości; **E** – ostrzeżenie przed materiałem rozszczepialnym klasy 7. Na białym tle w górnej części nalepki jest namalowany czarny napis „ROZSZCZEPIALNY”, a w dolnej jej części w prostokącie jest zamieszczony czarny napis „WSKAŹNIK BEZPIECZEŃSTWA KRYTYCZNOŚCIOWEGO”; w dolnym narożniku nalepki znajduje się czarna cyfra „7”. Nalepka ta jest przeznaczona do oznakowania sztuk przesyłek i kontenerów z materiałami rozszczepialnymi klasy 7.

Źródło: [24].

Na rysunku 4 przedstawiono przykład pełnego oznakowania pojazdu przewożącego materiały promieniotwórcze [3, 9, 24].



Rys. 4. Przykład oznakowania pojazdu

Źródło: [24].

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zarys informacji związanych z funkcjonowaniem energetyki jądrowej, poczynając od organizacji warunków pracy elektrowni i reaktorów, zasad ich konstrukcji i zabezpieczeń oraz niektórych aspektów związanych z paliwem jądrowym i powstającymi odpadami.

Zwrócono szczególną uwagę na zabezpieczenie przed szkodliwym oddziaływaniem promieniotwórczym, zabezpieczenie odpadów i substancji poprocesowych i poprodukcyjnych poprzez składowanie i systemy zabezpieczeń. Bardzo niebezpiecznym aspektem jest transport tego typu materiałów i substancji sklasyfikowanych jako grupa 7 według obowiązujących przepisów [11].

W artykule przedstawiono także system oznaczania nalepkami pojazdów przewożących takie materiały, system kodowania i identyfikacji ich rodzajów, a także rodzaje przesyłek.

Taka forma i układ artykułu uzupełnionego rysunkami i schematami ma ukierunkować przeciętnego czytelnika na analizę zagadnienia i zwrócić jego uwagę na zagrożenia wynikające z przemysłowo-technicznych zastosowań techniki jądrowej i możliwościami jej wykorzystywania w innych celach np. terrorystycznych.

BIBLIOGRAFIA

1. *Bezpieczeństwo w energetyce jądrowej*, Bergau Technik, 1999, nr 2.
2. Borkowski J., Woźniak D.: *Zmiany w umowie ADR w zakresie przewozu drogowego materiałów niebezpiecznych*, VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Współczesne technologie w motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego, Wydawnictwo RRFS NOT, Słupsk, 2004.
3. Buchar R., Grzegorzczak K., Hancyk B.: *Transport drogowy materiałów niebezpiecznych*, Wydawnictwo IMAGE, Warszawa, 2000.
4. Czerwiński A.: *Energia jądrowa i promieniotwórczość*, Wydawnictwo K. Pazdro, Warszawa, 2005.
5. Jaśkowski J.: *EA Fakty i mity energii atomowej*, Ruch „Wolność i Pokój”, Warszawa, 1987.
6. Nielubowicz B.: *Odpady promieniotwórcze*. Wydawnictwo Aura, Warszawa, 1981.
7. *Stan i tendencje rozwojowe energetyki jądrowej na świecie w 1995*, praca zbiorowa pod red. S. Chwaszczewskiego, Państwowa Agencja Atomistyki. Ministerstwo Przemysłu i Handlu, Warszawa, 1996.
8. *Bezpieczny zakład – poradnik*, praca zbiorowa pod red. D. Ratajczak, Warszawa, 2003.
9. Pusty T., *Przewóz towarów niebezpiecznych*, Poradnik kierowcy, WKiŁ, Warszawa, 2005.
10. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 roku w sprawie odpadów promieniotwórczych (DzU z 2002 r., nr 230, poz. 1925).

11. *Umowa Europejska* dotycząca transportu drogowego towarów niebezpiecznych – ADR wraz z załącznikami A i B (DzU z 1999 r., nr 30, poz. 287 z późn. zm.)
12. *Wielka Interaktywna Encyklopedia Multimedialna*, Edycja WIEM – 2003.
13. <http://andkow.w.interia.pl/>.
14. www.atomowe.kei.pl.
15. www.daktik.rubikon.pl/Slowniczek/O_energii_jadrowej.htm.
16. www.gigawat.pl.
17. www.if.pwr.wroc.pl/~hajdusianek/elektrownie2.pdf.
18. www.lo.wielun.ids.pl/pl/strona_promien.
19. www.nuclear.pl.
20. <http://www2.ijs.si/~icjt/plants/picl/pic414.html>.
21. Woźniak D.: *Bezpieczeństwo przewozu paliw płynnych w cysternach*, Przegląd Wojsk Lądowych 2007, nr 1(001), Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 2007.
22. Woźniak D.: *Przewóz drogowy materiałów wybuchowych i amunicji*, Przegląd Wojsk Lądowych 2006, nr 7(565), Wydawnictwo Wojsk Lądowych, Warszawa, 2006.
23. Woźniak D.: *Przewóz drogowy materiałów wybuchowych i amunicji*, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Współczesne technologie w motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego, Wydawnictwo RRFS NOT, Słupsk, 2005.
24. Woźniak D.: *Wymogi dotyczące dostosowania pojazdów do przewozu materiałów wybuchowych*, VI Konferencja Naukowo-Techniczna, Współczesne technologie w motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego, Wydawnictwo RRFS NOT, Słupsk, 2003.

GROUP 7 HAZARDOUS WASTE

Abstract

This article presents some aspects connected with atomic power engineering and its safety. The authors have e.g. analyzed the basic conditions of safe storing and storage of radioactive substances and radioactive waste and their safe transportation. The article also encompasses diagrams and figures being a graphic illustration of the analyzed problems.

Autorzy:

mgr inż. **Dariusz Woźniak** – Stowarzyszenie Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego w Warszawie, Oddział w Koszalinie

prof. dr hab. inż. **Leon Kukielka** – Politechnika Koszalińska, Katedra Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów