

## GOSPODARKA ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI ORAZ WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM W OKRESIE BUDOWY ELEKTROWNI JĄDROWEJ ŻARNOWIEC

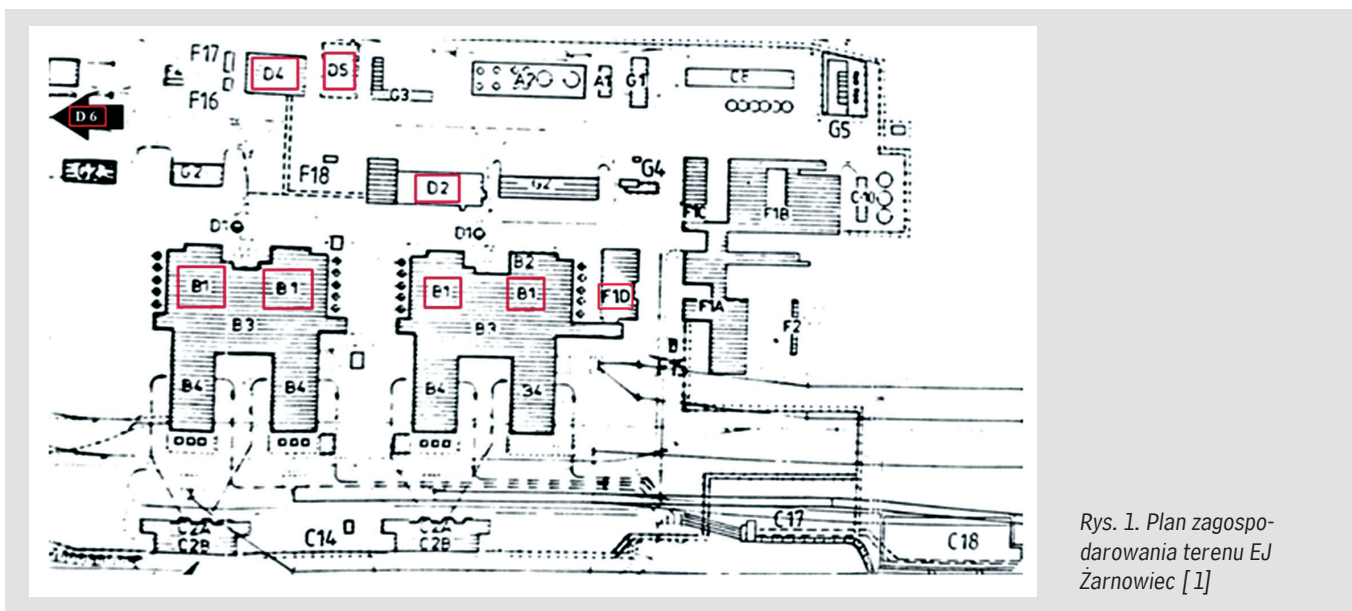
mgr inż. Tomasz Minkiewicz / Politechnika Gdańska

### 1. WSTĘP

Elektrownia Jądrowa Żarnowiec budowana była w latach 1982–1990. Jako lokalizację wybrano miejsce po zlikwidowanej wsi Kartoszyń nad Jeziorem Żarnowieckim w północnej części województwa pomorskiego (60 km od Gdańska, 10 km od Morza Bałtyckiego). Docelowo miały być tam zainstalowane cztery bloki energetyczne z reaktorami WWER-440. Każdy blok miał charakteryzować się mocą elektryczną 465 MW i mocą cieplną 1375 MW. Łączna moc elektryczna brutto całej elektrowni miała wynosić ok. 1860 MW.

Teren EJ Żarnowiec podzielony został na dwie strefy: I i II strefę kontrolowaną. Strefa II, zwana brudną, obejmowała budynki, w których personel mógł mieć do czynienia ze skażeniem promieniotwórczym, a więc miejsca przeznaczone na gospodarkę odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym (budynki: reaktorowy, gospodarki odpadami promieniotwórczymi, spalania odpadów, wypalonego paliwa, warsztaty, laboratoria, pralnie).

Zaproponowane rozmieszczenie budynków przedstawiono na rys. 1, gdzie czerwonymi ramkami zaznaczono te obiekty, w których personel mógł mieć bezpośredni kontakt z materiałami promieniotwórczymi. Całkowity plan zagospodarowania terenu EJ Żarnowiec przedstawiono w dokumentach dotyczących budowanej wówczas elektrowni, np. w [1], skąd zaczerpnięto rys. 1.



Rys. 1. Plan zagospodarowania terenu EJ Żarnowiec [1]

- B1 – budynek reaktorów
- D2 – budynek gospodarki odpadami radioaktywnymi
- D4 – budynek wypalonego paliwa jądrowego
- D5 – budynek spalania odpadów radioaktywnych
- D6 – składowisko odpadów niskoaktywnych

### Streszczenie

Niniejszy artykuł pozwala zapoznać się z aspektami dotyczącymi gospodarki odpadami promieniotwórczymi (stałymi, ciekłymi i gazowymi) oraz wypalonym paliwem jądrowym (OPiWPJ) w czasach, gdy projektowano

i budowano Elektrownię Jądrową Żarnowiec. Naświetlono również obecny stan gospodarki OPiWPJ w Polsce i Europie, wyciągając stosowne wnioski.

Jak wynika z tego rysunku, przejście pomiędzy strefami miało być możliwe wyłącznie poprzez śluzy dozymetryczno-sanitarne (w pełni kontrolowane; pracownicy zobowiązani byli do przebrania się w specjalną odzież, obuwie oraz zaopatrzenia się w dozymetr). Poziom skażenia ciała i odzieży miał być sprawdzany w budynku służb eksploatacyjnych (rys. 1 – F1D) oraz budynku wypalonego paliwa (rys. 1 – D4). Dodatkowym zabezpieczeniem miała być również kontrola skażeń odzieży osobistej personelu oraz środków transportu drogowego i kolejowego przy wejściu (bramie wjazdowej) do EJ Żarnowiec.

Cały teren EJ Żarnowiec, jak również okolice, miały być objęte systemem kontroli dozymetrycznej (kontrola w poszczególnych pomieszczeniach, obiektach oraz otoczeniu EJ; ciągłe pomiary aktywności czynników i szczelności wyposażenia technologicznego; kontrola aktywności odpadów usuwanych z EJ; kontrola skażeń wewnętrznych personelu i wybranej grupy ludności). Planowano zainstalowanie dziesięciu automatycznych stacji pomiarowych, odczytujących poziom skażenia powietrza aerozolami promieniotwórczymi, aktywność opadu atmosferycznego oraz naturalnego tła promieniowania gamma.

W elektrowni miały być wytwarzane trzy rodzaje odpadów promieniotwórczych: ciekłe, stałe i gazowe, z czego ok. 99 proc. materiałów radioaktywnych zawierają elementy paliwowe, natomiast pozostała część odpadów powstaje głównie na skutek nieszczelności koszulek paliwowych i przedostawania się produktów rozszczepienia do chłodziwa.

W latach budowy EJ Żarnowiec, Sejm PRL przewidywał, iż zgodnie z programem rozwoju energetyki, ok. roku 2000 wybudowane zostanie Centralne Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (CSOP). Składowisko to znajdować się miało poza terenem EJ Żarnowiec i przyjmować wszelkie stałe odpady promieniotwórcze ze wszystkich działających elektrowni jądrowych (do 2000 roku moc zainstalowana w polskich blokach jądrowych miała wynosić 9860 MW – proponowano 16 lokalizacji). W razie konieczności istniała również możliwość wybudowania na terenie EJ Żarnowiec przejściowego magazynu niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych.

## 2. GOSPODARKA ODPADAMI STAŁYMI

Odpady stałe, które miały powstawać podczas eksploatacji elektrowni, podzielono ze względu na moc dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma. Dawniej używaną jednostką mocy dawki ekspozycyjnej był rentgen na godzinę (R/h), natomiast obecnie w układzie SI jest to amper na kilogram (A/kg). Podział prezentował się następująco:

- odpady niskoaktywne ( $2,15 - 2,15 \times 10^3$  pA/kg)
- odpady średnioaktywne ( $2,15 \times 10^3 - 7,17 \times 10^4$  pA/kg)
- odpady wysokoaktywne (powyżej  $7,17 \times 10^4$  pA/kg).

Dla porównania średnia moc dawki gamma w powietrzu w Krakowie wynosi 0,72 pA/kg, a w Zakopanem 0,85 pA/kg. Istnieją na świecie miejsca, gdzie moc dawki jest dużo wyższa od średniej dawki w Polsce. Przykładem jest Kapitol i Biblioteka Kongresu USA, gdzie promieniowanie emitowane przez ściany wynosi  $2,15 \times 10^3$  pA/kg i jest to górna granica dawki promieniowania gamma dla niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych [6, 7].

Do odpadów niskoaktywnych zaliczyć można zużytą odzież roboczą i ochronną, szmaty, elementy konstrukcyjne i drobne urządzenia obiegów pomocniczych, sprzęt laboratoryjny, narzędzia, ale również osady promieniotwórcze, które zbierać się mogą na powierzchniach wyposażenia oraz pomieszczeń (spowodowane wyciekami z obiegu pierwotnego i osadzaniem aerozoli). Udział odpadów stałych w ogólnej objętości odpadów jest dość niski. Odpady te miały być przechowywane w magazynie stałych odpadów promieniotwórczych zlokalizowanym w budynku gospodarki odpadami promieniotwórczymi (D2), a docelowo w CSOP.

Odpady średnioaktywne (wkłady filtrów układów wentylacyjnych, fragmenty rurociągów, armatura mająca kontakt z chłodziwem reaktorowym, izolacja termiczna obiegu pierwotnego, itp.) miały być składowane w betonowych komorach budynku gospodarki odpadami promieniotwórczymi, a docelowo w CSOP. Objętość komór obliczano na dziesięć lat eksploatacji EJ.

Wysokoaktywne odpady promieniotwórcze, takie jak elementy konstrukcyjne reaktora, położone w strefie promieniowania neutronowego, miały być składowane w przechowalnikach usytuowanych bezpośrednio w pobliżu basenu wypalonego paliwa jądrowego. Objętość przechowalników obliczono na pełen okres eksploatacji EJ.



Przerób odpadów promieniotwórczych, w większości odpadów (głównie niskoaktywnych), polegać miał przede wszystkim na cięciu, prasowaniu i spalaniu, co pozwala na zmniejszenie objętości. W przypadku osadów zaproponowano stosowanie tzw. dekontaminacji, czyli procesu usuwania i dezaktywacji materiałów radioaktywnych, czego efektem jest powstawanie odpadów ciekłych.

Odpady niskoaktywne nie wymagają żadnych specjalnych zbiorników do celów transportowych i składowania – stosowane są pojemniki w kształcie bębna wykonane ze stali ocynkowanej o objętości 25–200 litrów. Transport i składowanie odpadów średnio- i wysokoaktywnych wymaga zastosowania dodatkowych osłon wykonanych z betonu, ołowiu lub wielowarstwowych pojemników ochronnych.

### 3. GOSPODARKA ODPADAMI CIEKŁYMI

Odpady ciekłe posiadają największy udział we wszystkich odpadach produkowanych w EJ, zarówno ilościowo, jak i ze względu na aktywność. Układ gospodarki odpadami promieniotwórczymi ciekłymi zlokalizowany miał być w budynku gospodarki odpadami promieniotwórczymi. Służyć miał zbieraniu odpadów, okresowemu składowaniu i przekazywaniu do dalszej obróbki. W procesie tym otrzymywane miały być dwie postacie odpadów. Jedną z nich to zużyte jonity, czyli substancje mające zdolność wymiany jonów z roztworu na jony wymienniczą, które w wyniku oczyszczania wód obiegu chłodzenia reaktora tworzą odpady promieniotwórcze i szlamy postrąceniowe powstałe w wyniku oczyszczania ścieków promieniotwórczych. Drugą postacią odpadów to pozostałości powyparne.

Obróbka ciekłych odpadów promieniotwórczych polegać miała na wykorzystaniu układów zestalania pozostałości powyparnej z roztopionym bitumem (gęstą mieszaniną substancji organicznych stałych i ciekłych z przewagą węglowodorów, najczęściej asfaltu) [2]. Proces ten służy zateżaniu i przetwarzaniu odpadów ciekłych w odpady stałe. Układy do realizacji procesu pozwalały na zestalanie odpadów (o stężeniu 200 g/kg) oraz pulpy (mieszaniny wodnej) zużytych jonitów. Stężone ścieki promieniotwórcze podawane miały być do układu bitumowania zasilanego parą o ciśnieniu 0,2 MPa. Tam miało nastąpić odparowanie wody i wytrącenie kryształków soli o 5-proc. wilgotności. Bitum i sucha pozostałość powyparna miały się mieszać w proporcjach 1:0,8 (przy zestalaniu pulpy zużytych jonitów miało się ją mieszać z bitumem i suchą pozostałością powyparną w stosunku 1:3:1). Schemat układu magazynowania pozostałości powyparnej i zużytych jonitów można znaleźć w [1].

Tak przygotowane mieszaniny miały być przetrzymywane w beczkach i transportowane do magazynu odpadów zestalonych. Magazyn ten miał się znajdować w budynku gospodarki odpadami promieniotwórczymi i był przewidywany na pięć lat normalnej eksploatacji czterech bloków jądrowych WWER-440. Zakładano możliwość rozbudowy tego magazynu, co zwiększałoby okres składowania do dziesięciu lat.

### 4. GOSPODARKA ODPADAMI GAZOWYMI

Układ gospodarki odpadami gazowymi miał się opierać na oczyszczaniu gazów promieniotwórczych powstających podczas eksploatacji EJ ( $^{85}\text{Kr}$  oraz  $^{129}\text{I}$ ). Są to gazy wydostające się poprzez nieszczelności elementów paliwowych do obiegu pierwotnego, aerozole oraz pary uwalniane z powierzchni wody w basenach paliwowych. W skład układu miały wchodzić dwa wymienniki ciepła, dwa separatory wilgoci, filtr samooczyszczający, filtr jodowy, dwa filtry zeolitowe (roboczy i rezerwowy przeznaczone do usuwania związków azotu i fosforu z wody, zawierające materiał do filtracji biologiczno-chemicznej), dwa filtry aerosolowe (roboczy i rezerwowy), dwa elektryczne grzejniki (roboczy i rezerwowy) oraz zbiornik wodny. Układ ten opisano szczegółowo w [1]. Dodatkowo zaprojektowano układy przejściowego magazynowania gazów promieniotwórczych, co skutkowało obniżeniem aktywności na skutek rozpadów promieniotwórczych.

Oczyszczone powietrze miało być transportowane do komina wentylacyjnego. Stopień oczyszczania gazów miał być na tyle duży, aby wartość dopuszczalnych uwolnień do atmosfery nie była przekroczona.



## 5. GOSPODARKA WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM

Zgodnie z planem przeładunku paliwa w EJ Żarnowiec, rocznie miały być wymieniane 104 kasety paliwowe i 12 kaset regulacyjnych. Podczas przeładunku/tasowania paliwa zarówno basen paliwowy, szyb reaktora, jak i korytarz łączący oba te pomieszczenia miały być zalewane wodą borowaną, co miało zapewniać pełną ostłonę biologiczną (warstwa wody o grubości ok. 3,3 m).

Kasety po wyjęciu z rdzenia miały być sprawdzane pod kątem szczelności koszulek elementów paliwowych (nieszczelność powoduje przedostanie się lotnych produktów rozszczepienia z paliwa do chłodziwa, skutkując aktywacją chłodziwa). Jeżeli została wykryta taka nieszczelność, wówczas kasety z uszkodzonymi elementami paliwowymi miały być umieszczone w jednym z 53 szczelnych zasobników przypadających na każdy blok jądrowy, a następnie przetransportowane do basenu wypalonego paliwa jądrowego. Basen ten chciano wypełnić roztworem kwasu borowego o stężeniu nie mniejszym niż 12 g/kg i zapewniać ostłonę warstwą nie mniejszą niż 3 m (utrzymywanie temperatury do 323 K w stanach normalnych lub do 343 K w stanach awaryjnych). Gazy zbierające się nad lustrem wody chłodzącej, powstające podczas przechowywania wypalonego paliwa, miały być zbierane przez układ wentylacji wyciągowej.

Wypalone paliwo miało być przechowywane w basenie trzy lata (sześć lat w przypadku składowania większej niż normalna liczba kaset z wypalonym paliwem jądrowym), a następnie przewieźć do budynku wypalonego paliwa D4 (rys. 1) przy wyłączonym reaktorze. W budynku tym miały znajdować się cztery baseny paliwowe (trzy podstawowe i jeden rezerwowy), a każdy z nich mógł pomieścić 56 pojemników po 30 kaset paliwowych. Cały budynek obliczony był na przechowywanie wypalonego paliwa jądrowego z wszystkich czterech planowanych bloków jądrowych WWER-440 przez okres dziesięciu lat (składowanie 5040 kaset wypalonego paliwa). Po tym czasie wypalone paliwo miało być transportowane do ZSRR.

## 6. OBECNY STAN GOSPODARKI ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI I WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM

W tej chwili Polska nie dysponuje doświadczeniem w składowaniu wypalonego paliwa jądrowego pochodzącego z elektrowni jądrowych, dlatego też należy skorzystać z doświadczeń państw, w których proces ten jest realizowany od lat. Może to być np. Francja, gdzie w La Hague w Normandii znajduje się zakład utylizacji i wzbogacania odpadów jądrowych Towarzystwa COGEMA oraz składowisko odpadów nisko- i średnioaktywnych, Finlandia (składowisko ostateczne w Olkiluoto) czy Szwecja (składowisko ostateczne w Forsmark), czyli kraje europejskie o wysoko rozwiniętej technologii jądrowej.

Problem składowania wypalonego paliwa jądrowego może się pojawić 30–40 lat po uruchomieniu w Polsce pierwszej elektrowni jądrowej. A to z uwagi na fakt, iż obecnie elektrownie są tak projektowane, aby wyprodukowane przez cały okres pracy odpady promieniotwórcze przetrzymywane były w sposób całkowicie bezpieczny wyłącznie na terenie EJ.

Gospodarką odpadami promieniotwórczymi w Polsce zajmuje się obecnie Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (KSOP). Według klasyfikacji Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej jest to typ składowiska powierzchniowego, przeznaczonego do ostatecznego składowania głównie odpadów krótkożyciowych, nisko- i średnioaktywnych. Zlokalizowane jest w Różaniu (woj. mazowieckie). Od pięćdziesięciu lat gromadzi ono odpady promieniotwórcze (nisko- i średnioaktywne) z całej Polski, które przygotowywane są w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) w Otwocku-Świerku. W ZUOP cały czas prowadzone są prace mające na celu udoskonalanie technik przetwarzania i zestalania odpadów promieniotwórczych (ulepszono technologię zestalania zużytych jonitów przez wykorzystanie żywicy poliestrowej jako materiału wiążącego, zmodyfikowano sposób przygotowania do składowania źródeł radowych poprzez szczelne ich zamykanie przy wykorzystaniu kombinacji sztucznych barier, planowane jest uruchomienie nowej technologii zatężania ciekłych odpadów z wykorzystaniem procesów destylacji i procesów membranowych) [4].

Co roku wykonywane są sprawozdania o stanie ochrony radiologicznej na terenie i w okolicy KSOP w Różaniu, które następnie przekazywane są do Państwowego Inspektoratu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej, Państwowej Agencji Atomistyki, Wojewody Mazowieckiego oraz do Zarządu Miasta i Gminy Różan. Pomiar poziomu mocy dawek w tej gminie nie odbiegają od wartości w pozostałych obszarach Polski, a według



opinii specjalistów z Centrum Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie, gmina ta charakteryzuje się jedną z najniższych umieralności na choroby nowotworowe w Polsce [3].

W Komisji Europejskiej trwają prace nad projektem nowej dyrektywy dotyczącej gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym. Efektem prac nad nową dyrektywą będzie nałożenie na poszczególne kraje obowiązku budowy własnych składowisk dla wypalonego paliwa jądrowego i pozostałości po jego przerobieniu lub też budowy wspólnych składowisk przez kilka krajów. Powołano zespół, którego celem będzie stworzenie Organizacji Rozwoju Europejskiego Składowiska (ERDO).

Zgodnie z raportem SAPIERR II, przygotowanym przez unijnych ekspertów, wspólne składowanie jest dużo tańsze od magazynowania odpadów indywidualnie przez każde państwo z osobna. Jeśli kraje grupy roboczej ERDO (w tym Polska) zdecydują się na stworzenie jednego bardzo dużego składowiska (ulożonego we wschodniej części Europy), będzie można uzyskać oszczędności na poziomie 15–25 mld euro. Budowa mniejszych ośrodków dla dwóch, trzech państw również obniży koszty składowania odpadów radioaktywnych o kilka miliardów euro [5].

## 7. PODSUMOWANIE

Konieczność opracowania i wdrożenia technik wykorzystywanych w czasie projektowania EJ Żarnowiec i związanych z gospodarką odpadami promieniotwórczymi wynikała w głównej mierze z uruchomienia w 1961 roku Centralnej Składowicy Odpadów Promieniotwórczych (CSOP), obecnie KSOP.

Jedną z ważniejszych spraw związanych z uruchomieniem energetyki jądrowej (poza wyborem technologii i lokalizacji) jest obecnie rozwiązanie kwestii składowania nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych, które pochodzą nie tylko z elektrowni jądrowych, ale powstają również w wyniku stosowania radioizotopów w medycynie, przemyśle i badaniach naukowych, podczas produkcji otwartych i zamkniętych źródeł promienionowania oraz przy eksploatacji reaktora badawczego, służącego m.in. do produkcji radioizotopów. W związku z tym, iż jedyne w Polsce składowisko odpadów promieniotwórczych zaczyna się zapełniać (zamknięcie przewidywane jest na rok 2020), zgodnie z harmonogramem Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) prace projektowe nowego składowiska mają ruszyć w 2013 roku, budowa dwa lata później, a uruchomienie w 2018 roku.

Oprócz konieczności zbudowania składowiska odpadów nisko- i średnioaktywnych, ważną kwestią związaną z odpadami promieniotwórczymi jest odpowiedź na pytanie, czy Polska powinna w przyszłości wybudować składowisko odpadów wysokoaktywnych, transportować wypalone paliwo do innych krajów, czy zbudować własny zakład przerobu wypalonego paliwa jądrowego. Najkorzystniejszym rozwiązaniem byłoby zbudowanie wspólnie z kilkoma krajami jednego dużego składowiska lub też zakładu zajmującego się recyklingiem paliwa jądrowego. Jednakże pewne jest to, iż ze względu nie tylko na aspekty techniczne, ale i społeczne, większość państw chciałaby zbudować taki obiekt poza granicami swojego kraju.

Konieczne jest – poza zmianami prawno-organizacyjnymi, związanymi z zasadami gospodarowania odpadami promieniotwórczymi – wykształcenie wykwalifikowanego personelu oraz odpowiednia kampania informacyjna, która przekona społeczeństwo o bezpieczeństwie obiektów jądrowych, w tym także składowiska odpadów promieniotwórczych, pochodzących z elektrowni jądrowej. Należy również podjąć wszelkie możliwe działania, aby zwiększyć stopień wykorzystania paliwa jądrowego w reaktorach, a tym samym zmniejszyć ilość produkowanych odpadów.

Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym musi zapewniać bezpieczeństwo zarówno ludziom, jak i środowisku. Bezpieczeństwo to zachowane musi być zarówno w warunkach normalnych, jak i w stanach awaryjnych. Projektując EJ Żarnowiec, spełniono oba te warunki (zwiększone marginesy bezpieczeństwa, redundancja układów bezpieczeństwa, systemy ciągłych pomiarów itd.). Opierając się na doświadczeniu z prac związanych z budową EJ Żarnowiec, pięćdziesięciu latach doświadczenia w zakresie eksploatacji KSOP w Różanie oraz nawiązując współpracę z krajami, które mają w tej dziedzinie dużo większe doświadczenie (Francja, Finlandia, Szwecja, Wielka Brytania), należy mieć nadzieję, iż w najbliższych latach rozwinię się w Polsce zarówno nowoczesna technologia jądrowa, jak i bezpieczny system przetwarzania i składowania odpadów promieniotwórczych oraz wypalonego paliwa jądrowego.



## BIBLIOGRAFIA

1. Elektrownia Jądrowa Żarnowiec. II Etap 2x465 MW. Wstępny raport bezpieczeństwa, część I, opis ogólny, praca zbiorowa, BSiPE Energoprojekt, Warszawa 1989.
2. Reński A., Elektrownie Jądrowe. Część II, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1991.
3. Madaj K., Doświadczenia z 50 lat unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych w Polsce, II Szkoła Energetyki Jądrowej, Warszawa 2009.
4. Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych, <http://www.zuop.pl>.
5. ICEM 2009, Shared, regional repositories: developing a practical implementation strategy, [http://www.arius-world.org/pages/pdf\\_2009/02\\_ICEM\\_2009\\_SAPIERR.pdf](http://www.arius-world.org/pages/pdf_2009/02_ICEM_2009_SAPIERR.pdf).
6. Naniewicz J., Naturalne tło promieniowania i inne źródła – percepcja ryzyka, Instytut Hematologii i Transfuzjologii, III Szkoła Energetyki Jądrowej, Warszawa 2010, RTA Sp. z o.o. Warszawa.
7. Strupczewski A., Porównanie zagrożeń związanych z różnymi źródłami energii elektrycznej, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, marzec 2005.