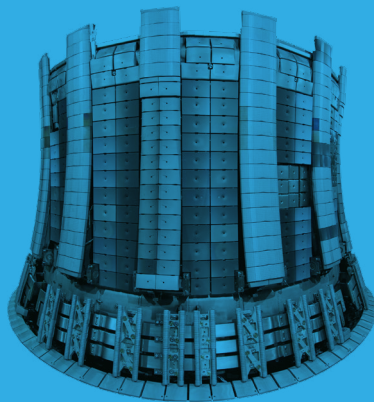


Program jądrowy we Francji

Program jądrowy w Wielkiej Brytanii

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ
ANALIZY I OPRACOWANIA





TOKAMAK

- największe działające obecnie na świecie urządzenie do przeprowadzania kontrolowanej reakcji termojądrowej. Znajduje się na terenie ośrodka badań jądrowych Culham Science Centre w Wielkiej Brytanii.

Program Jądrowy we Francji

Francja jest krajem o najwyższym na świecie udziale energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej. Jest to spowodowane długofalową polityką bezpieczeństwa energetycznego. **We Francji działa obecnie 58 reaktorów energetycznych o całkowitej mocy 63,13 GWe, które dostarczają ponad 75% krajowej produkcji energii elektrycznej.** Do roku 2025 udział energii jądrowej ma zostać zmniejszony do 50%.

Francja jest największym eksporterem elektryczności i uzyskuje z tego tytułu ponad 3 mld € rocznie.

Kraj ten opanował pełny jądrowy cykl paliwowy, w tym wzbogacanie uranu a także przerób wypalonego paliwa i jest samowystarczalny pod względem zaopatrzenia w paliwo jądrowe oraz postępowania z odpadami promieniotwórczymi. **Ponad 17% elektryczności pochodzi z recyklingu paliwa jądrowego.**

Francja jest bardzo aktywna w obszarze rozwoju technologii jądrowych. Głównymi towarami eksportowymi są reaktory i paliwo jądrowe oraz usługi serwisowe. Jako jedyne państwo w Europie buduje pierwszy reaktor Gen III+.

1.

Bilans energetyczny

W roku 2013 całkowita produkcja energii elektrycznej we Francji wyniosła 575 TWh: 424 TWh z EJ (74%), 76 TWh z hydroelektrowni (13%), 24,7 TWh z elektrowni węglowych (4%), 17,7 TWh z elektrowni gazowych (3,6%), 20,6 TWh z wiatrowych i słonecznych (3,6%) i 8 TWh z biopaliw i odpadów (1,4%). [1]

W ciągu ostatniej dekady Francja eksportowała do 70 TWh energii elektrycznej rocznie i spodziewana jest kontynuacja tego eksportu na poziomie 55-70 TWh/rok (65,1 TWh w 2014 r.), głównie do Szwajcarii i Włoch, a także do Niemiec, Belgii, Hiszpanii i Wlk. Brytanii. Jednak w okresie dużych chłódów lub

upałów zapotrzebowanie na energię elektryczną przekracza podaż i Francja musi ją importować.

Wynika to z małej elastyczności jej zdolności wytwórczych.

Francja eksploatuje 58 reaktorów jądrowych w 19 elektrowniach, których operatorem i właścicielem jest państwowy koncern Electricite de France (EDF). Sumaryczna moc tej floty reaktorów wynosi 63,13 GWe, w roku 2015 wyprodukowały one 419TWh, co stanowiło 76,3% krajowej produkcji energii elektrycznej. [2]

Całkowite zdolności wytwórcze Francji kształtują się na poziomie 129 GWe (koniec 2014 r.), na które

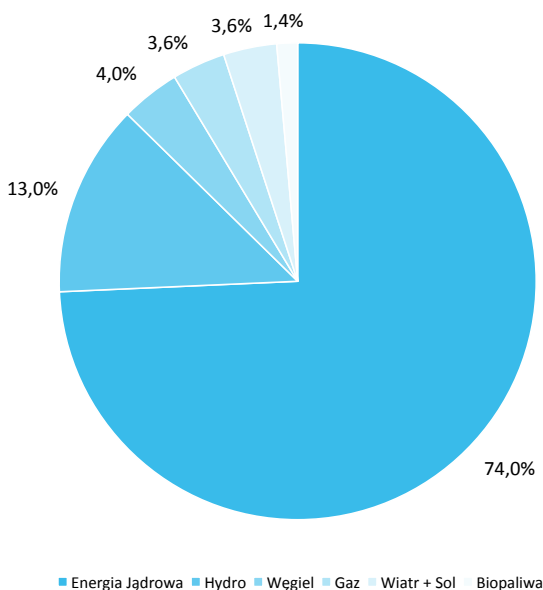
składają się oprócz energetyki jądrowej: 25,4 GWe z hydroelektrowni, 24,4 GWe z paliw kopalnych, 9,1 GWe z wiatru i 5,3 GWe z ogniw słonecznych.

Koszt energii elektrycznej produkowanej we francuskich elektrowniach jądrowych jest jednym z najniższych w Europie. W 2014 r. cena, po której EDF sprzedawał energię dystrybutorom wynosiła 42 €/MWh.

Francja posiada również wyjątkowo niski poziom emisji CO₂ na jednego mieszkańca w produkcji elektryczności bowiem ponad 90% wytwarzane jest za pomocą technologii bezemisyjnych.

Wykres 1.

Bilans produkcji energii elektrycznej Francji w 2013 r.



2. Polityka energetyczna

W roku 1990 parlament francuski zatwierdził trzy główne filary polityki energetycznej kraju:

- Bezpieczeństwo dostaw energii;
- Ochrona środowiska;
- Prawidłowa gospodarka odpadami promieniotwórczymi.

W 2008 roku dekretem prezydenckim ustanowiono radę ds. polityki jądrowej **Conseil Politique Nucleaire** (CPN) podkreślając istotną rolę jaką odgrywa technologia jądrowa dla budowy potęgi ekonomicznej kraju, szczególnie w zakresie dostaw energii. Radzie przewodniczy prezydent, w jej skład wchodzi: premier, ministrowie – energii, spraw zagranicznych, gospodarki, przemysłu, handlu zagranicznego, nauki i finansów oraz przewodniczący komisji energii jądrowej (CEA), a także minister obrony narodowej i szef sztabu sił zbrojnych.

W roku 2011 Rada zaleciła dwu rywalizującym ze sobą koncernom państwowym Areva i EDF zawarcie strategicznego partnerstwa w celu poprawy projektu reaktora EPR, aby uniknąć w przyszłości niepowodzeń w uzyskiwaniu kontraktów zagranicznych¹ oraz podjęcie współpracy na rynku krajowym. Porozumienie takie zostało zwarte w lipcu 2011 r.

W następstwie debaty narodowej

w sprawie przyszłości energetyki, zorganizowanej w latach 2012-13 przez Ministerstwo Zrównoważonego Rozwoju i Energii, parlament francuski w roku 2015 uchwalił ustawę, w której przyjęto, że do roku 2025 udział energii jądrowej w bilansie energetycznym ma zostać zmniejszony do 50% oraz zainstalowana moc elektrowni jądrowych ma zostać utrzymana na obecnym poziomie 63,2 GWe.² [3]

W marcu 2016 r. utworzono francuską platformę jądrową (PFN), w której skład oprócz EDF i CEA wszedł również koncern Areva. Celem przedsięwzięcia ma być poprawa efektywności działań oraz opracowanie długofalowej strategii rozwoju przemysłu jądrowego. Program prac platformy zawiera m.in. przegląd technologii reaktora EPR oraz koordynację stanowisk w sprawie zmian regulacyjnych, szczególnie w obszarze wymagań bezpieczeństwa. Platforma ma także określić dalszą politykę przerobu paliwa i zdecydować o przyszłości składowiska odpadów w głębokich formacjach geologicznych (CIGEO). Program działań PFN zawiera również rozwój technologii demontażu elektrowni jądrowych i prace

badawczo-rozwojowe w zakresie reaktorów IV Generacji.

Przemysł jądrowy (zarówno EDF jak i Areva) stoi obecnie przed znacznym wyzwaniem technicznym i ekonomicznym związanym ze starzeniem się floty reaktorów, bowiem 22 z nich w przeciągu dekady osiągnie swój projektowany dopuszczalny czas eksploatacji wynoszący 40 lat. Rozwiązaniem powyższego problemu jest przedłużenie czasu ich eksploatacji albo zmniejszenie sektora jądrowego i skupienie się na alternatywnych źródłach energii.

1. W roku 2009 Areva poniosła spektakularną porażkę w przetargu na budowę 4 bloków jądrowych w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, gdzie uległa koreańskiemu kon-

cernowi KEPCO, który zaoferował 4 reaktory APR-1400 za kwotę 20 mld \$.

2. Oznacza to, że uruchomienie elektrowni budowanej we Flamanville musi zostać

poprzedzone zamknięciem jednego ze starszych bloków.

3.

Energetyka jądrowa

Francja jest krajem o najwyższym na świecie udziale energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej oraz największym na świecie eksporterem energii elektrycznej. Buduje obecnie kilka reaktorów **EPR (European Pressurised Reactor)**. Są to pierwsze reaktory generacji III+, które powstają m.in. we Flamanville w Normandii, w Olkiluoto w Finlandii i w Taishan w Chinach. Francja posiada również szerokie zaplecze badawczo-rozwojowe, m.in. pracuje nad kilkoma projektami różnych typów reaktorów IV Generacji oraz przygotowuje budowę geologicznego składowiska odpadów promieniotwórczych. Decyzja o zaangażowaniu w przemysł jądrowy została podjęta po kryzysie naftowym z początku lat 70. XX w., który unaoocnił wrażliwość wielu państw na zawirowania na rynkach surowców energetycznych. W wyniku obowiązującej do dziś strategii uniezależniania się od zewnętrznych źródeł energii **we Francji realizowany jest pełny jądrowy cykl paliwowy**. W tym celu powstał cały sektor gospodarki obejmujący przemysł górniczy i przetwórczy rud uranu, budowę i eksploatację elektrowni jądrowych, przerób i ponowne wykorzystanie na największą na świecie skalę wypalonego paliwa jądrowego. **Utrzymanie tego sektora, zapewnienie setki tysięcy miejsc pracy, jest uznawane za rację stanu**

przez wszystkie poważne siły polityczne we Francji.

Głównymi przedsiębiorstwami w obszarze energetyki jądrowej są państwowe koncerny Areva SA i EDF.

EDF jest właścicielem i operatorem wszystkich elektrowni jądrowych.

Działalność **Arevy SA** obejmuje produkcję reaktorów, jak również wydobycie, przeróbkę, wzbogacanie i transport uranu oraz przetwarzanie wykorzystanego paliwa do reaktorów. Koncern ten jest największym na świecie producentem reaktorów jądrowych.

W lipcu 2015 r. EDF i Areva podpisały porozumienie ramowe w sprawie przejścia przez EDF za sumę 2,5 mld € części koncernu Areva odpowiedzialnej za budowę reaktorów (Areva NP). W czerwcu 2016 r. władze Arevy przedstawiły plan restrukturyzacji koncernu poprzez utworzenie nowego podmiotu (wstępnie nazwanego **New Co**), który będzie prowadził działalność związaną z jądrowym cyklem paliwowym. Ostatecznie procesy przejścia i restrukturyzacji Arevy mają zostać zakończone w roku 2017.

Obecnie we Francji eksploatowanych jest 58 reaktorów energetycznych w 19 elektrowniach o sumarycznej zainstalowanej mocy elektrycznej 63,13 GWe.

Wszystkie reaktory są reaktorami PWR i należą do trzech typów:

- 900 MWe (3 pętlowe) – 34 szt.;

- P4-1300 MWe (4 pętlowe) – 20 szt.;
- N4-1450 MWe (4 pętlowe) – 4 szt.

Stanowi to najwyższy stopień standaryzacji jądrowych obiektów energetycznych w świecie. (Tabela 1.)

Obecnie we Francji budowany jest 1 reaktor energetyczny **EPR** w EJ Flamanville o projektowanej mocy elektrycznej 1,75 GWe. (Tabela 2.)

Średnia wieku reaktorów francuskich w roku 2015 wynosiła 30 lat. Reaktory 900 MWe po przejściu kolejnych 10-letnich przeglądów otrzymały w 2009 r. zgodę dozoru jądrowego ASN na przedłużenie do 40 lat okresu ich eksploatacji. W lipcu 2010 roku EDF ogłosił, że rozważa możliwość przedłużenia do 60 lat okresu eksploatacji wszystkich reaktorów, którymi zarządza. Wymagać to będzie wymiany wszystkich wytwornic pary (po 3 w każdym bloku 900 MWe i po 4 w blokach 1300 MWe) oraz innych prac remontowych o wartości 400-600 mln € za 1 blok. Jak dotąd EDF wymienił takie wytwornice w 22 blokach 900 MWe i dokonuje tego w tempie 2 bloki rocznie. W roku 2011 zamówił 44 wytwornice pary do bloków 1300 MWe za cenę 1,5 mld € i będzie kontynuował ich wymianę również w tych jednostkach.

Jednocześnie EDF prowadzi program zwiększania mocy reaktorów N4 z 1455 do 1500 MWe, w przyszłości zamierza także podnieść moc reaktorów 900 MWe o 3% i 1300 MWe o 7%.

Tabela 1.

Wykaz reaktorów energetycznych eksploatowanych we Francji [1]

Lp.	Elektrownia	Typ reaktora	Moc zainstalowana (netto) MWe	Oddanie do eksploatacji
1.	Blayais 1-4		910	12/81, 2/83, 11/83, 10/83
2.	Bugey 2-3 Bugey 4-5		910 880	3/79, 3/79 7/79, 1/80
3.	Chinon B 1-4		905	2/84, 8/84, 3/87, 4/88
4.	Cruas 1-4		915	4/84, 4/85, 9/84, 2/85
5.	Dampierre 1-4	900 MWe	890	9/80, 2/81, 5/81, 11/81
6.	Fessenheim 1-2		880	12/77, 3/78
7.	Gravelines B 1-4 Gravelines C 5-6		910	11/80, 12/80, 6/81, 10/81 1/85, 10/85
8.	Saint-Laurent B 1-2		915	8/83, 8/83
9.	Tricastin 1-4		915	12/80, 12/80, 5/81, 11/81
10.	Bellevalle 1-2		1310	6/88, 1/89
11.	Cattenom 1-4		1300	4/87, 2/88, 2/91, 1/92
12.	Flamanville 1-2		1330	12/86, 3/87
13.	Golfech 1-2	P4-1300 MWe	1310	2/91, 3/94
14.	Nogent s/Seine 1-2		1310	2/88, 5/89
15.	Paluel 1-4		1330	12/85, 12/85, 2/86, 6/86
16.	Penly 1-2		1330	12/90, 11/92
17.	Saint-Alban 1-2		1335	5/86, 3/87
18.	Chooz B 1-2	N4-1450 MWe	1500	12/96, 1999
19.	Civaux 1-2		1495	1999, 2000

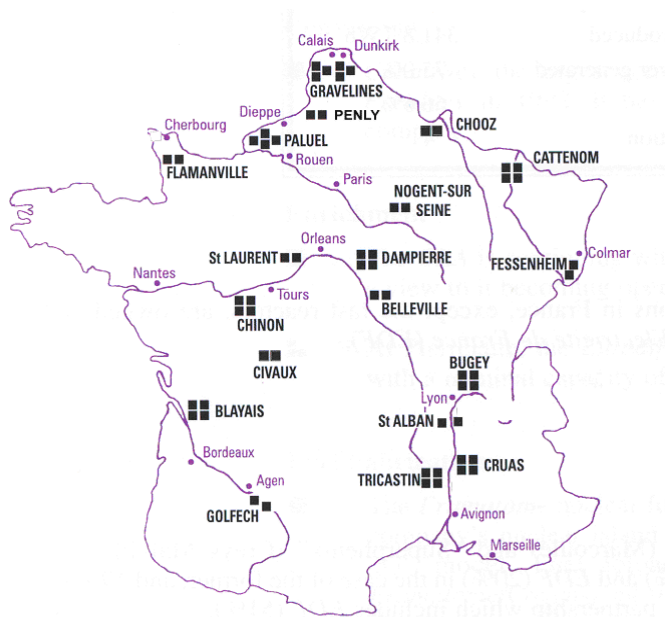
Tabela 2.

Wykaz reaktorów energetycznych budowanych we Francji [1]

Lp.	Elektrownia	Typ reaktora	Moc projektowana (brutto) MWe	Rozpoczęcie budowy	Planowane oddanie do eksploatacji
1.	Flamanville 3	EPR	1750	12/07	2016
Razem: 1 w budowie			Moc projektowana: 1,75 GWe		

Mapa 1

Rozmieszczenie EJ we Francji [1]



Fotografia 1.

Elektrownia Jądrowa Chooz
fot. MOSSOT



Fotografia 2.

Elektrownia Jądrowa Gravelines
fot. RaimondSpekking



4. Kontrakty zagraniczne w dziedzinie energetyki jądrowej

Dobrze zaprojektowane i sprawdzone konstrukcje reaktorów PWR 900 MWe zostały w przeszłości sprzedane do kilku krajów: Iran (2), RPA (2 bloki w Koeberg), Korea Płd. (2 bloki w Hanul/Ulchin) i Chiny (4 bloki w Daya Bay/Ling Ao). Kontrakt z Iranem z powodów politycznych został zerwany w 1978 r., a reaktory zainstalowano w EJ Gravelines. Także projekt chińskiego reaktora CPR-1000 bazuje na konstrukcji francuskiego reaktora M310.

Reaktor EPR o mocy 1650 MWe (netto) opracowany przez Framatome (obecnie Areva) wspólnie z niemieckim Siemensem w oparciu o projekty reaktorów N4 i Konvoi, został w roku 2004 zaaprobowany przez francuski dozór jądrowy jako nowy standard reaktora energetycznego PWR generacji III+.

Obecnie trwa budowa czterech bloków tego typu:

- Flamanville (Francja);
- Olkiluoto (Finlandia);
- Taishan 1,2 (Chiny).

EDF Energy planuje budowę 4 reaktorów typu EPR w dwóch elektrowniach w Wlk. Brytanii: Sizewell i Hinkley Point. W październiku 2013 r. EDF osiągnął porozumienie z brytyjskim rządem w sprawie warunków budowy elektrowni jądrowej Hinkley Point. Wartość kontraktu szacowana jest na prawie 26 miliardów euro. Porozumienie - tzw. kontrakt różnicowy (Contract for Difference) zakłada między in-

nymi, iż przez 35 lat od uruchomienia elektrowni mają obowiązywać ceny gwarantowane (strike price) na energię z elektrowni jądrowych, które EDF zbuduje w Wielkiej Brytanii. Ceny te będą indeksowane o wskaźnik inflacji. Gwarancje rządowe przewidują, że w sytuacji, gdy rzeczywista cena hurtowa energii będzie niższa, dopłaci on brakującą kwotę - gdy cena będzie wyższa, koszty weźmie na siebie inwestor. W przypadku, gdy powstanie tylko elektrownia Hinkley Point cena gwarantowana ma wynosić 92,5 funta za MWh, natomiast jeśli zbudowana zostanie również druga tego typu elektrownia w Sizewell, ze względu na korzyści skali dla inwestorów, cena gwarantowana ma spaść do poziomu 89,5 funta za MWh. Rząd zobowiązał się także do udzielenia EDF gwarancji finansowych na łączną kwotę do 10 mld funtów, która ułatwi inwestorowi pozyskanie finansowania na realizację projektu.

W listopadzie 2013 r. Areva podpisała kontrakt o wartości 1,25 mld euro z Brazilian electrician Eletrobras Eletronuclear na dokończenie budowy reaktora Angra 3 zlokalizowanego w stanie Rio de Janeiro. Francuska firma dostarczy różne usługi inżynierskie i podzespoły oraz cyfrowy system kontroli i sterowania reaktora. Zapewni także pomoc w pracach instalacyjnych i podczas rozruchu elektrowni.

Areva wspólnie z japońską firmą Mitsubishi Heavy Industries (MHI) opracowały projekt reaktora PWR generacji III+ o mniejszej mocy 1100 MWe - **ATMEA 1**. Przeznaczony jest on dla państw, które mają sieci energetyczne o średniej wielkości. Jest on obecnie oferowany na rynku międzynarodowym. W maju 2013 r. podpisano w Ankarze kontrakt na budowę elektrowni jądrowej o mocy ok. 4,8 tys. MWe w prowincji Sinop na wybrzeżu Morza Czarnego, w azjatyckiej części Turcji. Koszt inwestycji to 22-25 mld \$. Elektrownię ma zbudować konsorcjum dwóch firm z Japonii: Mitsubishi Heavy Industries oraz Itochu Corporation z francuską grupą GDF Suez. Elektrownia zostanie wyposażona w cztery reaktory ATMEA1.

Areva wspólnie z niemiecką firmą energetyczną **E.ON** opracowała reaktor typu BWR generacji III+ średniej mocy 1250 MWe - **KERENA** przeznaczony na rynek operatorów, którzy mają doświadczenie w eksploatacji reaktorów BWR i zamierzają unowocześnić swoje zdolności wytwórcze oparte o ten typ reaktora.

W sierpniu 2014 r. Areva wygrała przetarg na wymianę sześciu generatorów pary w EJ Koeberg w RPA. Przedsięwzięcie to planowane jest na rok 2018 w ramach przewidywanego remontu elektrowni.

W październiku 2014 r. Areva podpisała kontrakt na budowę

nowego składowiska odpadów promieniotwórczych w USA. Areva Federal Services została wybrana przez Idaho National Laboratory (INL) w USA do realizacji usług budowlanych, obsługi inżynierskiej oraz uruchomienia zdalnie sterowanego składowiska odpadów nuklearnych o niskiej aktywności. Kontrakt o wartości ponad 30 milionów dolarów został podpisany z Batelle Energy Alliance, która zarządza INL w ramieniu Amerykańskiego Departamentu Energii (DOE). Nowy obiekt zapewni dodatkowe możliwości składowania zbiorników na odpady o niskiej aktywności, wytwarzane w wyniku działalności programów badawczych DOE. W skład obiektu wejdą budynki administracyjne i konserwacyjne, przechowywane w nim będzie także 225 betonowych krypt, zlokalizowanych ok. 8 metrów pod ziemią,

przeznaczonych do przechowywania zbiorników na odpady.

W październiku 2015 r. firma francuska wygrała przetarg na budowę suchych przechowalników paliwa dla dwóch elektrowni w USA Prairie Island i Monticello. Zainstalowane tam zostaną systemy NUHOMS® 61BTH. Pierwsze zestawy wypalnego paliwa mają być gromadzone od roku 2018.

W listopadzie 2015 r. Areva podpisała porozumienie z China National Nuclear Corporation (CNNC) w sprawie budowy zakładu przerobu paliwa o wydajności 800 t/rok zlokalizowanego w nadbrzeżnym ośrodku **Xiapu** w prowincji Jiangsu. Budowa zakładów ma się rozpocząć w 2020 i zakończyć w 2030 roku.

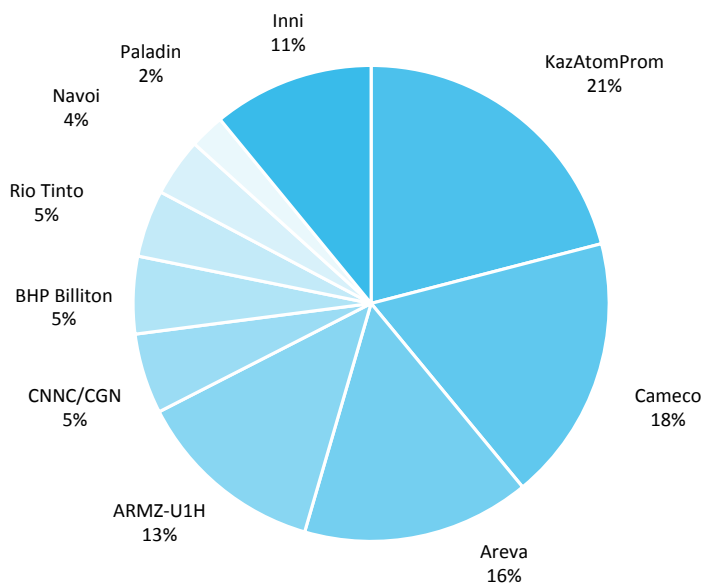
Także w listopadzie 2015 Areva została wybrana przez hiszpański koncern CNAT (Centrales Nucleares

Almaraz-Trillo) jako dostawca paliwa dla EJ Trillo. Firma ma dostarczać paliwo do tej elektrowni w latach 2017-2022 (sześć wsadów).

W kwietniu 2016 r. Areva Med uruchomiła w Plano (Teksas, USA) zakład produkcji izotopu Pb-212 wykorzystywanego w terapii nowotworowej (tzw. targeted alpha therapy). Zakład znany jako Plano DDPU (Domestic Distribution and Purification Unit) będzie jednocześnie główną siedzibą firmy w USA. Znajdą się w nim również laboratoria i biura przedsiębiorstwa Macrocylics, która jest podmiotem zależnym i zajmuje się produkcją odczynników dla medycyny nuklearnej.

Wykres 2.

Główni producenci uranu na świecie w roku 2015



5.

Jądrowy cykl paliwowy

Francja rozwinęła pełny zamknięty jądrowy cykl paliwowy ze wzbogacaniem uranu i przerobem wypalonego paliwa.

Kraj ten rocznie zużywa ok. 12400 ton koncentratu uranowego (10500 tU naturalnego) do produkcji energii elektrycznej. Większość surowca pochodzi z zasobów Arevy w Kanadzie (4500 tU) i Nigrze (3200 tU) a także jest importowana z Australii, Kazachstanu i Rosji, głównie w ramach kontraktów długoterminowych.

5.1.

Wydobycie i produkcja uranu

Francja, pomimo iż znacznie rozwinęła swój program jądrowy, to posiada niewielkie ilości uranu na swoim terytorium. Zasoby rozpoznane³ (ang. Known Recoverable Resources) przy koszcie wydobycia nie przekraczającym 260 USD/kgU wynoszą ogółem 11.600 tU (26 miejsce w świecie w tej kategorii kosztów)^[4]. Francuskie złoża uranu rozmieszczone są w trzech głównych rejonach wydobywczych:

- Dolina Loary;
- Masyw Centralny;
- Region Limousin.

Wydobycie uranu prowadzone było we Francji w latach 1946-2001 w 250 kopalniach. W okresie tym wydobyto łącznie ok. 76000 tU. W 2001 r. zamknięto ostatnią kopalnię w Jouac i od tej pory uran dla wszystkich reaktorów

dostarczany jest wyłącznie ze źródeł zagranicznych.

Całością przedsięwzięć związanych z wydobyciem rudy uranu, produkcją koncentratu uranowego oraz rekultywacją byłych kopalń kieruje przedsiębiorstwo wydobywcze Areva Mining Business Group będące częścią koncernu Areva. Na terenie Francji zajmuje się ono obecnie głównie rekultywacją i monitoringiem radiologicznym terenów po byłych kopalniach uranu. Areva jest bardzo aktywna poza granicami kraju i zarządza licznymi projektami wydobywczymi na wszystkich kontynentach (Mapa 2):

- Kanada – Mc Artur River, Cigar Lake (kopalnie) oraz Mc Clean Lake (produkcja koncentratu uranowego);
- Kazachstan – Muyunkum, Tortkuduk;
- Niger – Somair, Cominak, Imouraren (planowany);
- Namibia – Trekkopje (planowany);

Areva jest obecnie trzecim (wzrost z czwartego miejsca w roku 2014) po KazAtomProm i Cameco przedsiębiorstwem wydobywczym na świecie. Posiada 15% udział w globalnym rynku produkcji uranu z wynikiem **9368 tU** w roku 2015 (6496 tU w 2014 r.).

5.2.

Konwersja uranu

Konwersja koncentratu uranowego (yellowcake) do postaci sześćcioflorku uranu UF₆ prowadzona jest

w zakładach **Comurhex** zlokalizowanych w dolinie Rodanu w rejonie m.

Tricastin:

- Malvesi (produkcja UF₄);
- Pierrelatte (produkcja UF₆).

Całkowita wydajność zakładów konwersji wynosi ok. 14000 tU/rok. Ok. 40% produkcji odbywa się w formie usługi zewnętrznej lub kierowane jest na eksport. Areva zamierza zwiększyć wydajności konwersji do 21000 tU/rok poprzez modernizację i rozbudowę zakładów (projekt Comurhex II) i wzmocnić tym samym swoją pozycję na światowym rynku usług konwersji uranu.

W zakładach Comurhex przeprowadzana jest także konwersja uranu odzyskiwanego w procesie przerobu wypalonego paliwa (reprocessed uranium – RepU).

5.3.

Wzbogacanie uranu

We Francji od roku 1978 przez 33 lata czynny był zakład wzbogacania uranu Georges Besse I w m. Tricastin należący do firmy Eurodif. Działał on w oparciu o metodę dyfuzji gazowej i posiadał wydajność 10,8 mln SWU/rok.⁵ Do czasu zamknięcia w połowie 2012 roku wyprodukował on 35000 ton wzbogaconego uranu.

W roku 2006 Areva nabyła 50% udziałów w Urenco Enrichment Technology Company (ETC) wraz z technologią wzbogacania uranu

przy użyciu wirówek gazowych. W kwietniu 2011 r. ruszyła produkcja wzbogaconego uranu w oparciu o tę technologię w nowych zakładach **Georges Besse II** w **Tricastin**. Zakłady należą do firmy **Societe d'Enrichissement du Tricastin** (SET) będącej filią Arevy. Są one stale rozbudowywane, w końcu 2013 r. osiągnęły wydajność 5,5 mln SWU/rok, ich nominalna wydajność 7,5 mln SWU/rok ma zostać osiągnięta w roku 2016. Istnieje możliwość dalszej rozbudowy i osiągnięcia wydajności 11 mln SWU. Zakłady będą wzbogacać uran do 6% U-235 (w tym RepU) a zapotrzebowanie na energię elektryczną (z EJ Tricastin) wyniesie zaledwie 75 MWe (80 kWh/SWU) – znacznie mniej niż zakłady GB I, które zużywają 800 MWe (2600 kWh/SWU).

Pakiety mniejszościowe akcji firmy SET zaferowano jej kontrahentom: Suez (5%), Kansai i Sojitz Corp (2,5%), KH&NP (2,5%) oraz Kyushu Electric Power i Tohoku Electric Power po 1%. SET/Arava zawarła długoterminowe porozumienia na dostarczanie usługi wzbogacania uranu: z EDF (o wartości 5 mld euro) i KH&NP (1 mld euro).

Jako produkt odpadowy z linii wzbogacania (tails) gromadzony jest zubożony uran (depleted uranium – DU o zawartości 0,2-0,4 % U-235) w ilości 7300 ton rocznie. Większość z tego zapasu przechowywana jest na miejscu jako przyszły wsad paliwowy dla reaktorów prędkich IV Gen. Jedynie 100-150 tDU rocznie zużywane jest do produkcji paliwa MOX. Ocenia się, że do roku 2040 ilość zgromadzonego DU osiągnie poziom 450000 ton.

Wzbogacanie zubożonego uranu prowadzone było na zlecenie Arevy w Rosji w zakładach Urals Electrochemical Combine (UECC) w Nowouralsku i Electrochemical Plant (ECP) w Zielonogorsku. W latach 2006-09 wysłano tam 33000 tDU, który po wzbogaceniu do poziomu uranu

naturalnego (0,7% U-235) powrócił do Francji w maju 2010 roku (ok. 3090 tUnat). Odpady z tego procesu pozostały w Rosji jako własność podmiotu wzbogacającego.

5.4.

Dekonwersja uranu

W zakładach Arevy W2 w Pierrelatte od lat 80. XX w. prowadzony jest proces przekształcania zubożonego uranu DU, z postaci sześćiofluorku UF₆ (agresywnego chemicznie i silnie trującego) do ośmiotlenku uranu U₃O₈, który jest stabilny chemicznie i łatwy do dalszego przechowywania lub wykorzystania. Wydajność zakładów wynosi 20000 tU/rok. Jako produkt uboczny powstaje fluorowodór HF, który wykorzystywany jest ponownie w procesie konwersji uranu. Na wzór zakładów W2 zaprojektowano rosyjskie zakłady dekonwersji Electrochemical Plant (ECP) w Zielonogorsku.

5.5.

Produkcja paliwa jądrowego

Paliwo uranowe dla reaktorów energetycznych PWR i BWR produkowane jest przez firmę Fuel BU, która jest filią Arevy. Posiada ona sieć zakładów na terenie Europy i Stanów Zjednoczonych:

Francja - Franco-Belgian Fuel Fabrication (FBFC),

- **Pierrelatte**

- **Romans**

Niemcy - Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF)

- **Karlstein**

- **Lingen**

Belgia - Franco-Belgian Fuel Fabrication (FBFC)

- **Dessel**

USA - AREVA Richland

- **Richland.**

Paliwo do reaktorów badawczych dostarcza kolejna filia Arevy firma Company for the Study of Atomic Fuel Creation (CERCA), która posiada zakłady w m. Romans i Pierrelatte.

Cyrkon niezbędny do wytwarzania prętów paliwowych (rury, pręty i blachy) produkowany jest przez firmę CEZUS, która jest globalnym liderem na światowym rynku cyrkonu. Posiada ona pięć zakładów na terenie Francji:

- **Jarrie** (Isère),

- **Ugine** (Savoie)

- **Montreuil-Juigné** (Maine-et-Loire)

- **Paimboeuf** (Loire-Atlantique) i

- **Rugles** (Eure),

oraz w Niemczech – zakłady ANF w Duisburgu.

W maju 2013 r. Arava podpisała umowę z amerykańskim operatorem elektrowni jądrowych Exelon na produkcję paliwa jądrowego typu Atrium™ 11 dla elektrowni Dresden i Quad w stanie Illinois. Umowa przewiduje również kontynuowanie produkcji paliwa dla elektrowni w Three Mile Island w stanie Pensylwania. Na mocy zawartego porozumienia, począwszy od 2016 r. Arava ma dostarczyć 12 ładunków do czterech bloków zlokalizowanych w Dresden i Quad. Grupa zaopatrzy także elektrownię Three Mile Island w 6 kolejnych wsadów oraz zapewni na jej terenie dalsze świadczenie usług inżynierskich. Paliwo będzie produkowane w zakładach Richland, w stanie Waszyngton.

W lipcu 2014 r. sześciu amerykańskich operatorów jądrowych powołało techniczną radę doradczą w zakresie wdrażania nowej generacji zespołów paliwowych GAIA, zaprojektowanych przez firmę Arava dla reaktorów wodnych ciśnieniowych. Operatorzy ci, włącznie z Dominion, Duke Energy, Exelon i PSEG chcą działać na rzecz wprowadzenia innowacji technicznych oraz popularyzowania nowej generacji paliwa na rynku amerykańskim. Paliwo tego typu od 2012 r. jest stosowane z powodzeniem w EJ Ringhals w Szwecji. Wprowadzenie paliwa GAIA spowoduje podniesienie bezpieczeństwa i obniżenie

kosztów eksploatacji bloków jądrowych. Innowacyjna konstrukcja paliwa zapewnia wyższy stopień wypalenia dzięki zwiększonej odporności na niszczenie warstwy wierzchniej przez korozję (fretting), lepszemu działaniu w wysokiej temperaturze i zwiększonej tolerancji na trzęsienie ziemi. Konstrukcja posiada również zaawansowaną koszulkę paliwową, która będzie spełniała mające wejść w życie zmiany w zakresie amerykańskich wymagań regulacyjnych.

5.6.

Przerób wypalonego paliwa

Francja przyjęła politykę zamkniętego cyklu paliwowego i ponownego wykorzystywania uranu oraz plutonu odzyskiwanych w procesie przerobu wypalonego paliwa w celu zwiększenia stopnia wykorzystania energii zawartej w uranie oraz zmniejszenia ilości wysokoaktywnych odpadów podlegających składowaniu.

Wypalone paliwo jest przechowywane w basenach na terenie elektrowni przez stosunkowo krótki czas (ok. 4 lat) i następnie wysyłane do zakładów przerobu paliwa w m. **La Hague** w Normandii. Na terenie zakładów znajdują się dwa obiekty UP2 i UP3, których sumaryczna zdolność do przerobu paliwa wynosi 1700 ton rocznie.

W wyniku przerobu odzyskiwane jest 99,9% plutonu i uranu do dalszego wykorzystania (ok. 97% masy paliwa). Pozostałe 3% jako odpady wysokoaktywne podlegają wityfikacji (zeszkleniu) i przechowywane są w oczekiwaniu na ostateczne składowanie w głębokich pokładach geologicznych.

W ciągu roku z reaktorów francuskich wyładowywanych jest ok. **1200 ton wypalonego paliwa, z czego ok. 1050 ton podlega przerobowi.** Pozostała ilość jest zachowywana do późniejszego przerobu w celu uzyskania plutonu niezbędnego do

uruchomienia reaktorów IV Gen.

W wyniku przerobu otrzymuje się rocznie 10,5 tony plutonu i 1000 ton uranu (RepU). Pluton wysyłany jest do zakładów **Melox** zlokalizowanych w ośrodku badań jądrowych **Marcoule** w celu wykorzystania do produkcji paliwa MOX. Zakłady Melox posiadają zdolność produkcji 195 t/rok i wytwarzają paliwo wykorzystywane w 20 reaktorach 900 MWe eksploatowanych przez EDF. Kolejne 4 reaktory podlegają procesowi licencjonowania do stosowania paliwa MOX.

Na koniec 2010 r. we Francji składowane było ok. 80 ton plutonu pochodzącego z przerobu paliwa jądrowego. Ilość ta wystarcza do zapewnienia 3-letniej produkcji paliwa MOX w zakładach Melox. Wypalone paliwo MOX i RepU jest składowane w oczekiwaniu na ewentualny przerób i zastosowanie odzyskanego plutonu w reaktorach IV Gen. Obecnie nie prowadzi się przerobu paliwa MOX.

Uran odzyskany z przerobu paliwa (RepU) wraca do cyklu paliwowego i podlega procesowi konwersji w zakładach Comurhex w Pierrelatte/Tricastin albo do postaci ośmiotlenku uranu U_3O_8 do dalszego przechowywania albo do postaci sześćfluorku uranu UF_6 do procesu wzbogacania w zakładach GB II/Tricastin. Ok. 500 t francuskiego RepU rocznie wysyłane jest do rosyjskich zakładów JSC Siberian Chemical Combine w Siewiersku w celu wzbogacenia⁶. Wzbogacony RepU (UF_6) z Siewierska po przekształceniu do dwutlenku uranu UO_2 wykorzystywany jest do produkcji nowego paliwa w zakładach FBFC Romans. Paliwo wyprodukowane z RepU (enriched reprocessed uranium - ERU) od lat 80. XX w. stosowane jest w reaktorach 900 MWe w elektrowni Cruas. Zgromadzony zapas RepU wynoszący 16900 ton stanowi rezerwę strategiczną i EDF zamierza zwiększyć

jego wykorzystanie do produkcji paliwa. Odpady DU z procesu wzbogacania RepU (tails) pozostają w Rosji jako własność podmiotu wzbogacającego.

Wg oceny Arevy 17% elektryczności pochodzi z RepU i Pu odzyskanych w procesie przerobu wypalonego paliwa.

5.7.

Gospodarka odpadami promieniotwórczymi

Za gospodarkę odpadami promieniotwórczymi odpowiada we Francji *Agence Nationale pour la gestion des Dechets Radioactifs* – ANDRA, która działa w oparciu o Waste Management Act (WMA) z 1991 roku. W 2006 roku parlament francuski przyjął uaktualniony program gospodarowania odpadami promieniotwórczymi, który ma obowiązywać przez 15 lat. Zakłada się w nim, że składowanie w głębokich formacjach geologicznych ma być podstawowym sposobem pozbycia się wysokoaktywnych i długożyciowych odpadów. Składowisko takie ma powstać w 2025 roku. Jednocześnie WMA potwierdza, że przerób paliwa ma być wykorzystywany do redukcji ilości i toksyczności końcowych odpadów oraz wzywa do konstrukcji i budowy reaktorów IV Generacji do roku 2020 w celu przeprowadzenia testów transmucacji długożyciowych aktywności zawartych w odpadach promieniotwórczych⁷.

Przewidywany koszt składowiska w formacjach geologicznych wynosi ok. 15 mld euro (40% budowa, 40% eksploatacja, 20% podatki i ubezpieczenie).

Obecnie ANDRA prowadzi prace projektowe nad budową ostatecznej formy składowiska *Centre Industriel de Stockage Geologique* – CIGEO, zlokalizowanego w pokładach gliny w okolicy m. Bure/Haute Marne. Konsultacje społeczne zakończone w grudniu 2013 roku wykazały

brak sprzeciwu wśród społeczności lokalnej (not oposed in principle) wobec tego projektu. Składowisko będzie miało pojemność 10000 m³ odpadów wysokoaktywnych (HLW) – głównie w postaci zeszkłonej oraz 70000 m³ średnioaktywnych (ILW). Według przyjętego planu budowa rozpocznie się w roku 2020 i ma ono zacząć przyjmowanie odpadów w 2025 roku. [6]

Obecnie ANDRA eksploatuje składowisko odpadów promieniotwórczych niskoaktywnych (LLW) i krótkożyłowych średnioaktywnych (ILW) zlokalizowane w pobliżu m. Soulaines/Aube (The Centre de l'Aube) dysponujące pojemnością składowania wynoszącą 1 mln m³, które jest obecnie zajęte w 25%. Ponadto ANDRA zarządza pobliskim składowiskiem Morvilliers przeznaczonym do składowania bardzo niskoaktywnych odpadów (VLLW) pochodzących głównie z demontażu obiektów jądrowych, zdolnym do przechowywania 650000 m³ takich odpadów.

Finansowanie projektów związanych z gospodarką odpadami promieniotwórczymi pochodzi z funduszu ustanowionego przez EDF w postaci odpisu 0,14 c za 1 kWh wyprodukowanej energii. Na koniec 2004 r. zgromadzono 13,4 mld EUR na ten cel (9,6 mld EUR na przerób paliwa i 3,8 mld EUR na składowanie odpadów).

3. Zasoby rozpoznane (zidentyfikowane) obejmują zasoby racjonalnie pewne (ang. Reasonably Assured Resources - RAR) i zasoby przypuszczalne (ang. Inferred Resources - IR).
4. Francja nie posiada żadnych zasobów przy niższych kosztach - 130 USD/kg.
5. Wydajność procesu wzbogacania mierzy się w jednostkach pracy rozdzielania (Separative Work Unit - SWU). Jest to złożona funkcja ilości przetworzonego uranu i uzyskanego stopnia jego wzbogacenia oraz poziomu zubożenia odpadów. Ma ona wymiar masy i wyraża się w kg SWU. Przedstawia ona ilość energii zużywanej do wzbogacenia do pew-

5.8. Likwidacja obiektów jądrowych

Obecnie prowadzony jest we Francji demontaż 13 reaktorów jądrowych; dziewięć z nich to reaktory pierwszej generacji chłodzone gazem z moderatorem grafitowym wyłączone do 1990 r., pozostałe cztery obejmują reaktory prędkie Super Phenix i Phoenix, prototypowy reaktor 305 MWe w Chooz i eksperymentalny 70 MWe GCHWR w Brennilis.

Demontaż prowadzony jest także w zamkniętych zakładach wzbogacania GB I w Tricastin oraz przerobu paliwa UP1 w Marcoule.

Przyjęta w 2008 roku polityka w sprawie zamkniętych obiektów jądrowych zakłada ich niezwłoczny demontaż. Wstępne szacunki przewidują koszty likwidacji wszystkich instalacji jądrowych (reaktory, ośrodki badawcze i zakłady cyklu paliwowego) i składowanie odpadów promieniotwórczych na poziomie ok. 80 mld euro (ok. 20 mld euro na likwidację 58 reaktorów energetycznych).

W sierpniu 2014 r. należąca do czterech szwedzkich operatorów elektrowni jądrowych spółka SVA-FO podpisała z Arevą umowę na demontaż reaktorów badawczych znajdujące się w pobliżu Nyköping w Szwecji. Umowa dotyczy demontażu dwóch reaktorów badawczych o mocy 1 MW i 50

promieniowanie gamma i wymagane są dodatkowe osłony;
U-234 – pochłania neutrony i przechodzi w U-235, zmienia reaktywność paliwa;
U-236 – pochłania neutrony i przekształca się w neptun-237, który jest trudno podawać obróbce mechanicznej.
7. Paliwo ERU wyprodukowane z RepU wymaga wyższego stopnia wzbogacenia aby skompensować powyższy wpływ U-236. Przez transmutację rozumiemy reakcję, w której – w wyniku pochłonięcia neutronu – izotop promieniotwórczy przekształca się (transmutuje) w izotop stabilny.

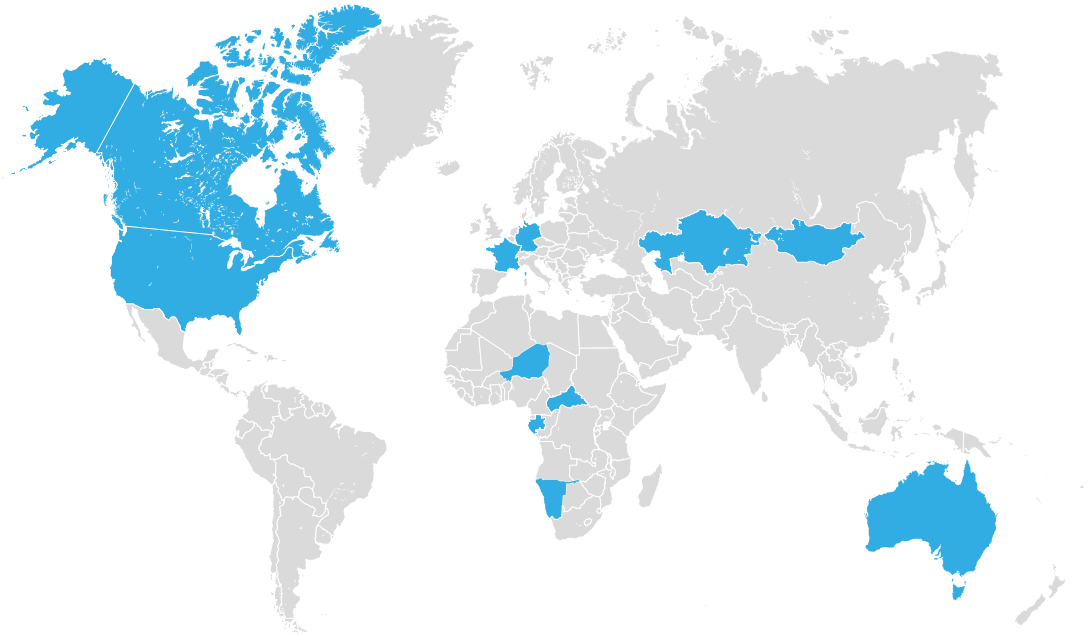
MW, które pracowały w latach 1960- 2005 roku. Jest to pierwszy projekt demontażu, który odbędzie się w Szwecji od 1980 roku. Areva będzie odpowiedzialna nie tylko za usunięcie reaktorów, ale również za pomiar poziomu napromieniowania ich komponentów. Zostaną one następnie przechowywane w beczkach specjalnie zaprojektowanych do tego celu. Prace powinny ruszyć w pierwszej połowie 2015 roku.

Areva wcześniej dokonała demontażu obiektów jądrowych znajdujących się w La Hague, Marcoule i Cadarache we Francji, a także w elektrowniach jądrowych Stade i Wuergassen na terenie Niemiec. Obecnie francuska firma przygotowuje program demontażu dla niemieckich elektrowni jądrowych, których eksploatacja została wstrzymana w 2011 roku w wyniku decyzji rządu o wycofaniu się z energetyki jądrowej.

nego poziomu danej ilości uranu wyrażonej w kg. Przyjmuje się, że do wyprodukowania rocznego zapasu paliwa dla typowego lekkowodnego reaktora energetycznego o mocy 1 GWe wymagane jest ok. 140 000 kg SWU.
6. Konwersja i wzbogacanie RepU wymaga zastosowania specjalnie do tego celu przeznaczonych instalacji. Wynika to ze specyfiki składu izotopowego uranu – zawiera on bowiem oprócz rozszczepialnego U-235 także inne izotopy, które wytworzone zostały w materiale paliwa w trakcie napromieniania neutronami w reaktorze:
U-232 – produkty rozpadu emitują silne

Mapa 2.

Rozmieszczenie projektów wydobywczych uranu należących do Arevy



6. Organy dozоровe, bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, kultura techniczna

We Francji rolę niezależnego dozoru jądrowego pełni od 2006 roku agencja *Autorité de Sûreté Nucleaire* – ASN, która odpowiada za bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną (BJiOR) w kraju. Posiada 11 oddziałów regionalnych, na jej czele stoi rada składająca się z 5 komisarzy. Jej decyzje odnośnie wydawania zgód i licencji na prowadzenie działalności jądrowej podlegają zatwierdzeniu przez rząd. ASN została powołana w celu integrowania funkcji regulacyjnych i opracowywania oraz wdrażania polityki rządowej w zakresie BjiOR we wszystkich 130 instalacjach jądrowych Francji.

Wsparcie techniczne i naukowo-badawcze zapewnia ASN utworzony w 2002 roku *Institute for Radiological Protection & Nuclear Safety* (IRSN) zlokalizowany w Fontenay-aux-Roses pod Paryżem.

W przeszłości na terytorium Francji odnotowano dwa zdarzenia radiacyjne związane z reaktorami grafitowymi chłodzonymi gazem w elektrowni St. Laurent A:

- w październiku 1969 r. nastąpiło częściowe stopnienie rdzenia w bloku nr 1;
- w marcu 1980 wystąpiło zjawisko anilacji⁸ w graficie w bloku nr 2, w wyniku którego doszło do krótkotrwałego wzrostu temperatury rdzenia.

Obu zdarzeniom przypisano 4 stopień, w siedmiostopniowej skali INES.

W latach 2012-2014 r., w ramach realizacji wniosków z awarii w Fukushima, utworzono we Francji specjalne siły reagowania kryzysowego na wypadek awarii w elektrowni jądrowej *Nuclear Rapid Action Force* (FARN). Rozmieszczone są one

w czterech bazach ulokowanych przy obiektach jądrowych w Ci-vaux, Dampierre, Paluel i Bugey. Każda baza dysponuje przewoźnymi generatorami prądu i zbiornikami wody oraz innym sprzętem do likwidacji następstw awarii jądrowej. Obsada składa się z 70 ratowników – głównie pracowników elektrowni, którzy są ekspertami w zakresie budowy i działania elektrowni jądrowej oraz jej obsługi technicznej, a także ochrony radiologicznej i logistyki. [6]

8. Anilacja - proces zmiany właściwości materiału wywołany jego podgrzaniem. W wyniku anilacji następuje zmiana jego mikrostruktury

i właściwości mechanicznych takich jak: wytrzymałość, kruchość i kowalność.

7. Badania i rozwój technologii jądrowych

Komisja ds. energii jądrowej i energii alternatywnej *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives* (CEA) jest organem państwowym odpowiedzialnym za wszystkie aspekty polityki jądrowej państwa, zarówno cywilnej jak i wojskowej. Założona została w 1945 r. przez gen. Charlesa de Gaulle.

CEA dysponuje 10 centrami naukowymi, w których eksploatowanych jest 14 reaktorów badawczych różnych typów i mocy (największy **OSIRIS** o mocy 70 MWt zlokalizowany jest w centrum badań jądrowych w **Saclay**), ponad połowa z nich pracuje na paliwie wysoko-wzbogaconym HEU (Mapa 3).

Francja planuje wprowadzenie do 2040 roku na skalę przemysłową reaktorów prędkich (FNR) do systemu energetycznego i do 2050 roku wyłączenie wszystkich reaktorów PWR II Gen.

Od roku 2006 CEA realizuje program rządowy, którego celem jest opracowanie konstrukcji dwóch typów reaktorów prędkich IV Gen.: chłodzonego sodem (SFR) lub gazem (GFR). Oba reaktory pracować mają w cyklu zamkniętym z pełnym przerobem paliwa i transmutacją mniejszych aktywności. Projekt ten znajduje się w programie prac międzynarodowej inicjatywy ESNII w ramach KE; CEA rozwija współpracę w tym zakresie także z Japonią, Chinami i Indiami.

W 2009 roku francuski komitet oceny badań naukowych - CNE przyjął, że prace nad modelem reaktora prędkiego z chłodzeniem sodem **ASTRID** (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) powinny uzyskać wysoki priorytet z uwagi na duży potencjał do wypalania aktywności jakimi posiada ten reaktor. Przy jego konstrukcji wykorzystane zostaną dotychczasowe doświadczenia z wieloletniej eksploatacji reaktorów prędkich Phoenix i Superphenix.

Przewiduje się, iż prototyp reaktora SFR o mocy 600 MWe zostanie uruchomiony w roku 2025 i będzie on stanowił wersję pilotażową dużych komercyjnych reaktorów energetycznych o mocy 1500 MWe, które zostaną oddane do użytku ok. roku 2050. Reaktor ma pracować na paliwie, w skład którego będzie wchodził pluton pochodzący z przerobu wypalonego paliwa MOX oraz zubożony uran DU – odpad z procesu wzbogacania, którego Francja do roku 2050 posiadać będzie 0,5 mln. ton. Reaktor ASTRID będzie zapewniał uzyskiwanie wysokiego stopnia wypalenia paliwa, włączając mniejsze aktywności, paliwo MOX ma mieć skład podobny do reaktorów PWR a zawartość plutonu ma wynosić 25-35 %. Ma to być reaktor typu basenowego z pośrednią pętlą chłodzenia zawierającą sód.

W trzeciej pętli obiegu chłodzącego może być woda lub gaz. W celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy przewiduje się budowę czterech niezależnych pętli odbioru ciepła. Produkcja plutonu w tym reaktorze ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa proliferacyjnego ma być utrzymywana na niskim poziomie zapewniającym jedynie samopodtrzymywanie reakcji rozszczepienia (self-generating). Reaktor ASTRID będzie zlokalizowany w ośrodku badań jądrowych CEA VALRHO w Marcoule a jego budowa rozpocznie się w roku 2020.

Program ASTRID obejmuje nie tylko konstrukcję samego reaktora, ale także powiązane obiekty cyklu paliwowego: linię produkcji paliwa MOX (AFC) ok. roku 2017 i pilotażowy zakład przerobu paliwa (ATC) ok. roku 2023. Pręty paliwowe zawierające aktywności do transmutacji mają być produkowane od 2023 r., a ich załadunek do reaktora przewidywany jest nie wcześniej niż w roku 2025. W październiku 2010 r. podpisano trójstronne porozumienie pomiędzy Francją, USA i Japonią w sprawie współpracy w rozwoju reaktorów prędkich, w ramach którego dokonano analiz bezpieczeństwa i sprawdzenia warunków pracy reaktora w laboratorium Idaho National Laboratory (INL) w Stanach Zjednoczonych.

Drugim projektem reaktorów

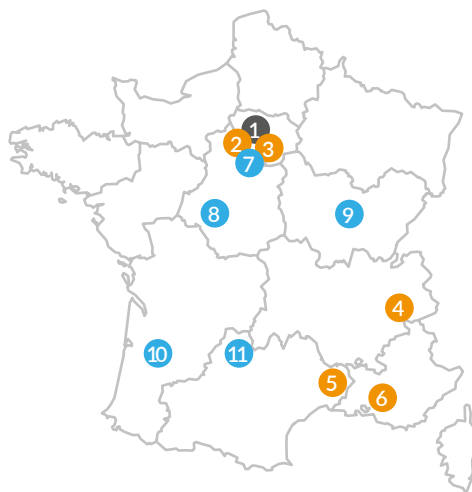
Mapa 3

Centra naukowe wchodzące w skład CEA

- 1 Siedziba CEA
- Centra badawcze**
- 2 Saclay SIEGE
- 3 Fontenay-aux-Roses
- 4 Grenoble
- 5 Marcoule
- 6 Cadarache

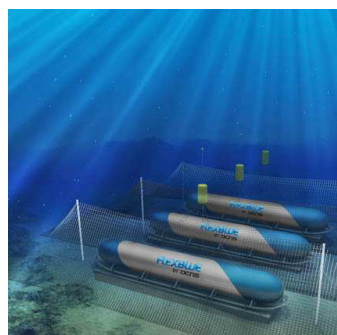
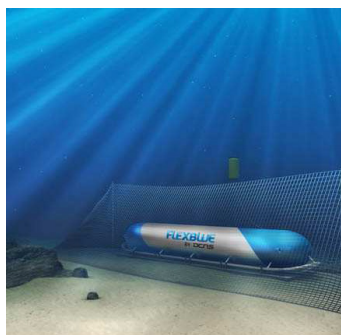
Centra badawcze na potrzeby zastosowań wojskowych

- 7 DAM Ile-de-France
- 8 Le Ripault
- 9 Valduc
- 10 Cesta
- 11 Gramat



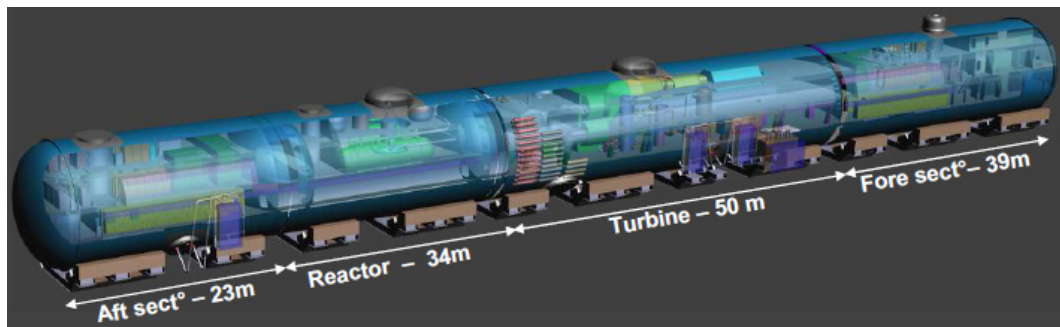
Ilustracja 1

Wizualizacja projektu Flexblue



Ilustracja 2

Wizualizacja projektu Flexblue



IV Gen realizowanym przez CNE jest program rozwoju reaktorów prędkich chłodzonych gazem (GFR) **ALLEGRO**. Reaktor ten chłodzony helem ma mieć w zależności od rodzaju paliwa temperaturę na wyjściu od 560 (MOX) do 850°C (ceramiczne) oraz obieg wtórny z wodą pod ciśnieniem. Projekt ten jest realizowany wspólnie przez Francję, Czechy, Słowację i Węgry. W czerwcu 2012 roku dołączyła do tej grupy Polska (NCBJ), która w ramach swojej specjalizacji ma prowadzić badania materiałowe.

Innym projektem z dziedziny energetyki jądrowej skierowanym w przyszłość jest projekt **ANTARES** realizowany przez Arewę. Dotyczy on budowy reaktora wysokotemperaturowego chłodzonego gazem (VHTR), który jest francuską wersją reaktora GT-MHR amerykańskiej firmy General Atomics. Reaktor ten oprócz energii elektrycznej dostarczać będzie również ciepło procesowe m.in. do produkcji wodoru i gazyfikacji węgla.

W marcu 2007 roku CEA rozpoczęła w Cadarache budowę reaktora **Jules Horowitz (JHR)** o mocy 100 MWT przeznaczonego do prowadzenia badań materiałowych (Material Testing Reactor - MTR). Projekt budowy reaktora jest częścią europejskiego forum infrastruktury badawczej (European Strategy Forum on Research Infrastructures - ESFRI). Jest on budowany i będzie eksploatowany przez międzynarodowe konsorcjum, w skład którego wchodzi 9 ośrodków badawczych z 9 państw: Francji (CAE), Czech (NRI), Hiszpanii (CIEMAT), Finlandii (VTT), Belgii (SCK+CEN), Izraela (IAEC), Indii (DAE), Japonii (JAEA) i UK (NNL) oraz Komisja Europejska wraz z koncernami EDF, Vaattenfall i Areva. Konsorcjum

jest otwarte na dalszą współpracę międzynarodową¹⁰. Jest ono finansowane przez CEA (50%), EDF (20%), instytuty badawcze UE (20%) i Arewę (10%). Oprócz badań materiałowych (głównie paliwa) na rzecz rozwoju energetyki jądrowej reaktor JHR będzie także służył do produkcji radioizotopów (w tym dla medycyny) oraz do naświetlania krzemu dla zastosowań w przemyśle elektronicznym. Reaktor ma pracować na niskowzbożonym paliwie (LEU) nowej generacji o wysokiej gęstości na bazie krzemu (U_3Si_2) i/lub molibdenu (UMo). Pierwszy beton wylano w sierpniu 2009 r., a budowa ma zostać zakończona w roku 2016.

W ośrodku badań jądrowych Cadarache Areva wraz z firmą Direction des Constructions Navales Services (DCNS) buduje również testową wersję reaktora **RES** (Reacteur d'essais a terre), który jest lądowym odpowiednikiem reaktora K15 o mocy 150 MWt służącego do napędu okrętów wojennych. Opracowano także większą wersję tego reaktora NP-300 o mocy 300 MWe.

W styczniu 2011 r. firma DCNS zademonstrowała projekt o nazwie **Flexblue** rozwijany obecnie przy współpracy firm energetycznych Areva, EDF i komisji CEA. Zakłada on umieszczenie nad dnem morza na głębokości 60-100 m. w odległości 5-15 km. od brzegu podwodnej siłowni jądrowej o mocy 50-250 MWe. Elektrownia ma budowę modułową (ok. 160 MWe), co pozwala na jej dowolną konfigurację w zależności od zapotrzebowania na prąd elektryczny.

Przesył energii elektrycznej odbywać się będzie za pomocą podwodnego przewodu łączącego elektrownię z brzegiem łądu. Blok reaktora i turbina umieszczone będą w cylindrycznym korpusie o dł. po-

nad 100 m. i średnicy 12-15 m. Cały obiekt ma mieć masę ok. 12 tys. ton. Będzie on opuszczany ze statku transportowego na dno oceanu (i podnoszony) za pomocą zbiorników balastowych. Moduły Flexblue będą zakotwiczone do dna i unosić się nad jego powierzchnią, co uczyni je całkowicie odpornymi na fale tsunami i trzęsienia ziemi. Budowa całej elektrowni w jednym zakładzie zapewni seryjność i standaryzację obiektu, a całkowite zanurzenie w wodzie gwarantuje niezawodny pasywny odbiór ciepła, nawet w przypadku poważnej awarii. Koncepcja podwodnej elektrowni jądrowej oparta jest o sprawdzone technologie konstrukcji okrętów podwodnych i reaktorów napędowych typu PWR stosowanych we francuskiej marynarce wojennej¹¹.

Sterowanie elektrownią na co dzień odbywać się będzie zdalnie z brzegu. Jedynie główne operacje związane z jej uruchomieniem i wyłączeniem oraz przeładunkiem paliwa odbywać się będą z centrali znajdującej się w samym kadłubie. Bieżące prace remontowe i okresowe inspekcje obiektu odbywać się będą za pomocą specjalnie zaprojektowanego do tego celu pojazdu podwodnego.

Oferta podwodnych siłowni jądrowych Flexblue skierowana jest do państw o średnim zapotrzebowaniu na energię elektryczną takich jak np. Maroko oraz izolowanych regionów państw rozwijających się jak np. wyspy (Malta, Cypr, region Pacyfiku). DCNS spodziewa się zapotrzebowania na 100-300 takich modułów energetycznych. Pierwszy prototyp testowy planowany jest na rok 2017, potencjalnym miejscem rozmieszczenia elektrowni mogłoby być dno morskie w okolicy Flamanville. [9]

9. Mniejsze aktywnowce (minor actinides): neptun, ameryk i kiur powstają w trakcie pracy reaktora w wyniku kolejnych wychwytywów neutronów przez uran zawarty w paliwie jądrowym oraz innych rozpadów promieniotwórczych. Pluton oraz pomniejsze aktywnowce głównie

odpowiadają za podwyższoną radioaktywność wypalonego paliwa oraz wydzielane ciepło w okresie od 300 do 20 tys. lat.

10. Chęć przystąpienia do tego programu wyraża również NCBJ.

11. Firma DCNS od 40 lat specjalizuje się

w budowie okrętów wojennych (nawodnych i podwodnych) dla francuskiej marynarki wojennej i zbudowała 18 reaktorów jądrowych do napędu tych jednostek.

8. Zagadnienia nieproliferacyjne

Francja jest jednym z 5 państw nuklearnych (NWS) w rozumieniu Układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (NPT) i posiada ładunki jądrowe (ok. 300) przenoszone przez okręty podwodne i lotnictwo. Prowadziła testy nuklearne w latach 1960-95 i zaprzesała produkcję materiałów jądrowych dla celów militarnych w 1996 r. Ratyfikowała także Traktat o całkowitym zakazie prób jądrowych (CTBT).

System zabezpieczeń Euratomu stosowany jest we wszystkich cywilnych obiektach jądrowych.

W obiektach tych także MAEA prowadzi inspekcje zgodnie z podpisanym przez Francję w roku 1981 - na zasadzie dobrowolności - porozumieniem o zabezpieczeniach (Safeguards).

Francja działa także aktywnie na arenie międzynarodowej w zakresie przeciwdziałania rozprzestrzenianiu się broni jądrowej i bierze udział w systemie kontroli eksportu materiałów jądrowych poprzez uczestniczenie w inicjatywach takich jak: Komitet Zanggera i Grupa Dostawców Jądrowych.

9.

Wykaz organizacji i podmiotów zaangażowanych w program jądrowy Francji

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Dechets Radioactifs

ANF - Advanced Nuclear Fuels GmbH

Areva

ASN - Autorité de Sûreté Nucléaire

ASTRID - (Advanced Sodium Technological Reactor
for Industrial Demonstration)

CEA - Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

CERCA - Company for the Study of Atomic Fuel Creation

CIGEO - Centre Industriel de Stockage Geologique

CPN - Conseil Politique Nucleaire

DCNS - Direction des Constructions Navales Services

EDF - Electricite de France

EPR - European Pressurised Reactor

ETC - Urenco Enrichment Technology Company

FBFC - Franco-Belgian Fuel Fabrication

Flexblue

INL - Idaho National Laboratory

IRSN - Institute for Radiological Protection & Nuclear Safety

JHR - Jules Horowitz Reactor

MTR - Material Testing Reaktor

SET - Societe d'Enrichissement du Tricastin

WMA - Waste Management Act

Program Jądrowy w Wielkiej Brytanii

Energia jądrowa obok odnawialnych źródeł energii pozostaje dla Wielkiej Brytanii kluczowym elementem strategii redukcji emisji CO₂ o 80% do roku 2050. Kraj ten opanował pełny cykl paliwowy, w tym wzbogacanie uranu i przerób wypalonego paliwa i jest samowystarczalny pod względem zaopatrzenia w paliwo jądrowe oraz postępowania z odpadami promieniotwórczymi.

Obecnie w UK eksploatowanych jest **15 reaktorów energetycznych o łącznej mocy 8,88 GWe, które dostarczają 21% krajowej produkcji energii elektrycznej**. Planowane jest **do roku 2030 uruchomienie w pięciu lokalizacjach 11 nowych reaktorów o mocy 16 GWe**, które mają zastępować reaktory stopniowo zamykane ze względu na swój wiek (wszystkie z wyjątkiem jednego zostaną wyłączone do 2023 roku).

1.

Bilans energetyczny

Wielka Brytania utrzymuje stosunkowo niewielki jądrowy sektor energetyczny. Spowodowane jest to w głównej mierze posiadaniem bogatych złóż gazu zlokalizowanych na Morzu Północnym. Jednak wyczerpywanie się tych zasobów oznacza dla UK konieczność uzależnienia się od importu surowców energetycznych i skupienia większej uwagi na kwestiach bezpieczeństwa dostaw energii. W roku 2009 50% gazu dostarczane było z zagranicy (32% w 2007 r.) i spodziewany jest dalszy wzrost importu do 75%. W połączeniu z polityką rządu, mającą na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 60-80% do roku 2050 oznacza to konieczność ekspansji w dziedzinie energetyki jądrowej.

Krajowa produkcja energii elek-

trycznej w 2015 r. wyniosła 338 TWh, z czego 76 TWh wyprodukowano w elektrowniach węglowych (23%), 100 TWh gazowych (29,5%), 70 TWh jądrowych (21%) oraz 84,5 TWh z OZE (25%): 40 TWh z wiatrowych, 7,5 TWh z solarnych, 33 TWh z biogazowi i odpadów oraz 9 TWh z hydroelektrowni. Import energii elektrycznej wyniósł 21 TWh: 13,8 TWh z Francji, 8,0 TWh z Niderlandów oraz 0,9 TWh wyeksportowano do Irlandii. [1]

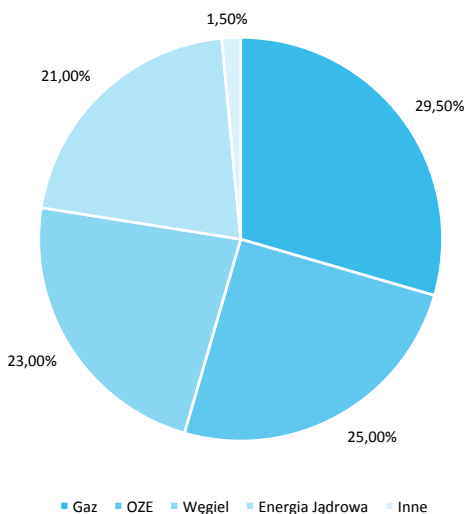
Udział energetyki jądrowej w bilansie energetycznym stale maleje (w 1990 r. wynosił on 25%) wraz z zamykaniem starych elektrowni oraz spadkiem współczynnika efektywności, związanym z trudnościami w utrzymaniu sprawności wyeksploatowanych bloków (70,3%

w 2014 r.). W 2015 r. wyłączony został ostatni reaktor typu Magnox i całkowita zainstalowana moc elektrowni jądrowych (15 bloków) spadła do 8,88 GWe (9,37 GWe w 2014 r.). Średni wiek pozostałych reaktorów wynosi 32 lata i połowa z nich będzie musiała zostać wyłączona do 2025 roku.

Polityka energetyczna z listopada 2015 r. zakłada możliwość redukcji udziału węgla w produkcji energii elektrycznej, budowę nowych gazowych bloków energetycznych oraz zwiększenie udziału energii jądrowej w bilansie energetycznym. Rząd zamierza do 2030 r. zwiększyć o 16 GWe moc zainstalowaną w elektrowniach jądrowych (w pięciu lokalizacjach).

Wykres 3.

Bilans energetyczny UK w 2015 r.



2. Energetyka jądrowa

Program rozwoju energetyki jądrowej został zapoczątkowany w Wielkiej Brytanii po zakończeniu II wojny światowej. Początkowo zorientowany był głównie na problemy związane z obronnością kraju i koordynowany w tamtym okresie przez *Ministry of Supply* (MOS). Pierwszy reaktor jądrowy został zbudowany w sierpniu 1947 r. w *Atomic Energy Research Establishment* (AERE) w Harwell. W 1953 rozpoczęto budowę pierwszego reaktora energetycznego w Calder Hall na terenie ośrodka jądrowego Windscale. W kolejnym roku uchwalono podstawowy akt prawny - *Atomic Energy Authority Act*, na mocy którego utworzono organ rządowy *United Kingdom Atomic Energy Authority* (UKAEA), powierzając mu nadzór nad rozwojem brytyjskiego programu jądrowego. Największym osiągnięciem tamtego okresu było **uruchomienie 17 października 1956 r. w Calder Hall pierwszej na świecie komercyjnej elektrowni jądrowej** o mocy elektrycznej netto 50 MWe¹ zbudowanej w oparciu o reaktor **Magnox**². Ogółem wybudowano 26 reaktorów tego typu stopniowo zwiększając ich moc do 490 MWe. Począwszy od roku 1988 były one sukcesywnie zamykane i ostatni z tej floty reaktorów Wylfa 1 został wyłączony w grudniu 2015 r. Likwidacja elektrowni tego rodzaju jest procesem złożonym,

który nastęrcza wiele trudności związanych m.in. z utylizacją dużej ilości grafitu pochodzącego z rozbieranych bloków oraz znaczną objętością materiałów konstrukcyjnych (10 razy większą od reaktorów lekkowodnych). Koszty demontażu w przypadku reaktorów Magnox są także pięciokrotnie wyższe.

Kolejnym etapem w rozwoju rodzimych konstrukcji reaktorów energetycznych były ulepszone reaktory chłodzone gazem **AGR** (*Advance Gas Reactor*), których budowę rozpoczęto w końcu lat 70. ubiegłego wieku. Podobnie do reaktorów Magnox są to jednostki z moderatorem grafitowym chłodzone CO₂, lecz pracują one na paliwie z dwutlenku uranu w formie ceramicznej umieszczonym w koszulce ze stali nierdzewnej. Pozwala to uzyskiwać wyższą temperaturę gazu chłodzącego (powyżej 600°C) i wyższą sprawność termiczną bloku energetycznego (ok. 40%). Ponieważ stal charakteryzuje się wyższym przekrojem czynnym na pochłanianie neutronów w reaktorach tego typu wymagane jest stosowanie uranu wzbogaconego - co z kolei umożliwia uzyskiwanie wyższych stopni wypalenia i wydłużenie kampanii reaktora w porównaniu z reaktorami typu Magnox. W latach 76-89 XX w. wybudowano siedem podwójnych bloków energetycznych opartych o ten typ reaktora, ostatnie z tej

serii mają zostać wyłączone w roku 2023.

Problemy techniczne i finansowe, jakie występowały w trakcie budowy reaktorów AGR wywołały w latach 70. dyskusję nad wyborem innego typu reaktorów. Pod uwagę brane były także reaktory typu HTR (*High Temperature Reactor*), SGHWR (*Steam Generating Heavy Deuterium Uranium*) i PWR (*Pressurized Water Reactor*). W roku 1979 rząd w Londynie zaaprobował plany rozwoju reaktorów PWR i w roku 1987 wydał zezwolenie na budowę pierwszego reaktora tego typu w elektrowni Sizewell B. Został on uruchomiony w 1995 roku. Jego konstrukcja oparta jest na zmodyfikowanym projekcie Westinghouse SNUPPS (*Standardised Nuclear Unit Power Plant System*), który dostosowano do wymagań brytyjskiego dozoru jądrowego. W wyniku przeglądu polityki energetycznej w roku 1995 podjęto decyzję o wstrzymaniu budowy kolejnych reaktorów jądrowych.

Obecnie w Wielkiej Brytanii czynnych jest 15 bloków jądrowych zlokalizowanych na terenie siedmiu elektrowni. Są to w większości przestarzałe reaktory - 14 reaktorów AGR, które z uwagi na swój wiek muszą zostać wyłączone do 2030 roku oraz zaledwie jeden nowoczesny reaktor typu PWR, który ma zezwolenie na użytkowanie do

roku 2035. Większość reaktorów AGR pracuje znacznie poniżej projektowanej mocy. Właścicielem i operatorem wszystkich reaktorów energetycznych jest przedsiębiorstwo EDF Energy.

W roku 2006 ponownie dokonano przeglądu brytyjskiej polityki energetycznej, w wyniku którego nastąpił powrót do energetyki jądowej. Ustanowiony cel strategiczny na redukcję emisji gazów cieplarnianych o 80% do 2050 roku postawił ten rodzaj bezemisyjnej produkcji elektryczności w centrum uwagi rządu, jako znaczący element polityki przeciwdziałania zmianom klimatycznym i zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Plany rządu zakładają potrzebę zainstalowania 60 GWe nowych mocy energetycznych do roku 2025, z których 35 GWe ma pochodzić ze źródeł odnawialnych (mają one priorytet według dyrektywy UE z roku 2009). Pozostałe 25 GWe wg rządu w Londynie w „znaczącej proporcji” powinny pochodzić ze źródeł jądowych. Nie ustalono sztywnych limitów w tym zakresie, a jedynie przewiduje się do 2030 roku budowę nowych reaktorów o sumarycznej mocy 16 GWe w pięciu lokalizacjach. Zgodnie z polityką rządu **udział energetyki jądowej w brytyjskim bilansie energetycznym powinien stopniowo wzrastać do ok. 2035 roku, a następnie utrzymywać się na stałym poziomie 35-40 %.**

Powrót UK do energetyki jądowej wywołał duże zainteresowanie wśród inwestorów międzynarodowych. Obecnie program jej rozwoju związany jest z następującymi concernami energetycznymi:

EDF Energy planuje budowę 4 reaktorów typu EPR w dwóch elektrowniach Sizewell i Hinkley Point. W październiku 2013 r. EDF osiągnął porozumienie z brytyjskim rządem w sprawie warunków budowy elektrowni jądowej Hinkley

Point. Wartość kontraktu szacowana jest na prawie 26 miliardów euro. Porozumienie - tzw. kontrakt różnicowy (*Contract for Difference*) zakłada między innymi, iż przez 35 lat od uruchomienia elektrowni mają obowiązywać ceny gwarantowane (*strike price*) na energię z elektrowni jądowych, które EDF zbuduje w Wielkiej Brytanii. Ceny te będą indeksowane o wskaźnik inflacji. Gwarancje rządowe przewidują, że w sytuacji, gdy rzeczywista cena hurtowa energii będzie niższa, dopłaci on brakującą kwotę - gdy cena będzie wyższa, koszty weźmie na siebie inwestor. W przypadku, gdy powstanie tylko elektrownia Hinkley Point cena gwarantowana ma wynosić 92,5 funta za MWh, natomiast jeśli zbudowana zostanie również druga tego typu elektrownia w Sizewell, ze względu na korzyści skali dla inwestorów, cena gwarantowana ma spaść do poziomu 89,5 funta za MWh. Rząd zobowiązał się także do udzielenia EDF gwarancji finansowych na łączną kwotę do 10 mld funtów, która ułatwi inwestorowi pozyskanie finansowania na realizację projektu.

Porozumienie zakłada również, że oprócz EDF, który ma mieć w przedsięwzięciu budowy elektrowni Hinkley Point udział na poziomie od 40 do 50%, zaangażują się jeszcze co najmniej trzy podmioty: Areva (projektant i producent reaktorów), która ma mieć 10 - procentowy udział oraz dwie chińskie firmy - *China General Nuclear Corporation* (CGN) oraz *China National Nuclear Corporation* (CNNC), które mają mieć łącznie 30 - 40 % udział w przedsięwzięciu. Jednocześnie trwają rozmowy z innymi inwestorami, którzy mogą objąć łącznie do 15 % udziału. Przedsiębiorstwa brytyjskie wykonają do 57% prac związanych z budową elektrowni, całkowita liczba pracowników w trakcie jej

budowy ma osiągnąć 25000. Po uruchomieniu zapewnionych będzie 900 stałych miejsc pracy.

W październiku 2014 r. porozumienie z rządem brytyjskim zostało zaakceptowane przez Komisję Europejską, która w grudniu 2013 r. rozpoczęła postępowanie wyjaśniające w sprawie udzielenia pomocy publicznej na rzecz projektu budowy elektrowni atomowej Hinkley Point C.

W październiku 2015 r. EDF i CGN podpisały umowę, na mocy której chiński koncern przejął 33,5% akcji projektu Hinkley Point. Ponadto zawarto wstępne porozumienie o dalszym rozszerzeniu współpracy i planach budowy nowych elektrowni w Sizewell i Bradwell. W pierwszej lokalizacji przewiduje się instalację dwóch reaktorów EPR natomiast w EJ Bradwell Chiny wyraziły zainteresowanie budową reaktorów rodzimej konstrukcji HL-1000.

Horizon Nuclear Power został utworzony w 2009 roku jako wspólne przedsięwzięcie brytyjskiego E.ON UK i niemieckiego RWE npower. W 2012 roku z projektu wycofała się strona niemiecka i dalsze jego istnienie stanęło pod znakiem zapytania. Z propozycją odkupienia udziału niemieckiego wystąpiło szereg firm w tym m.in. *Rosatom*. Ostatecznie projekt Horizon przejął japoński koncern Hitachi Ltd., który w grudniu 2013 r. ogłosił, że w dwóch elektrowniach w Wylfa i Oldbury zamierza uruchomić cztery bloki jądowe z reaktorami typu ABWR (*Advanced Boiling Water Reactor*) konstrukcji GE-Hitachi, każdy o mocy 1380 MWe. Projekt otrzymał rządowe gwarancje finansowe podobne do tych udzielonych EDF.

NuGeneration zostało utworzone w 2009 jako wspólne przedsięwzięcie hiszpańskiego koncernu Iberola (37,5%), belgijskiego GDF Suez (37,7%) i szkockiego Scottish & Southern Energy - SSE (25%).

W 2011 r. Iberola i GDF Suez zostały jedynymi partnerami po wycofaniu się SSE. W grudniu 2013 r. Iberola zgodziła się sprzedać swoje udziały japońskiej firmie Toshiba, która w styczniu 2014 r. zakupiła dodatkowo 10% akcji GDF Suez uzyskując tym samym 60% udziału w tym projekcie. NuGen zakupiło od NDA 160 ha terenu na północ od ośrodka jądrowego Sellafield, gdzie zamierza uruchomić elektrownię Moorside wyposażoną w trzy reaktory AP-1000 (Tabela 2).

Na początku września 2013 r. firmy Rosatom, Rolls-Royce i Fortum podpisały porozumienie ramowe (*memorandum of understanding* – MoU) w celu wspólnego zbadania możliwości współpracy i eksploatacji w Wielkiej Brytanii elektrowni jądrowych wyposażonych w reaktory WWER.

W czerwcu 2014 r. rząd w Londynie zlecił przygotowanie raportu na temat perspektyw zastosowania w energetyce tzw. modułowych reaktorów jądrowych. Oprócz postępów w realizacji programu energetyki jądrowej opartej o jednostki dużej mocy rząd bada również możliwy wkład małych reaktorów modułowych (*small modular reactors* - SMR) w brytyjski bilans energetyczny oraz szanse, jakie stwarzałyby to dla brytyjskich przedsiębiorstw. [2]

W raporcie opracowanym przez National Nuclear Laboratory (NNL) stwierdza się, że UK ma możliwość odzyskania „przywództwa technologicznego” w obszarze rozwoju źródeł niskoemisyjnych poprzez inwestycje w technologię reaktorów SMR. Jako potencjalnie możliwe do wdrożenia w UK

rozważane są następujące typy reaktorów: ACP100+ (CNNC), mPower (B&W i Bechtel); Westinghouse SMR (Westinghouse) i NuScale (Fluor). [3], [4].

W marcu 2016 r. *Department of Energy & Climate Change* (DECC) wezwał zainteresowanych dostawców technologii o składanie swoich propozycji budowy reaktorów SMR w UK. W oparciu o te projekty do końca 2016 r. ma zostać ogłoszona „mapa drogowa” dla rozwoju energetyki jądrowej bazującej na reaktorach tego typu. [5].

Tabela 1.

Wykaz reaktorów energetycznych eksploatowanych w UK:

Elektrownia	Typ reaktora	Moc zainstalowana (netto) MWe	Oddanie do eksploatacji	Termin wyłączenia
Dungeness B 1&2	2 x AGR	520, 520	1983, 1985	2028
Hartlepool 1&2	PWR	595, 585	1983, 1984	2024
Heysham I 1&2	2 x AGR	580, 575	1983, 1984	2024
Heysham II 1&2	PWR	610, 610	1988	2030
Hinkley Point B 1&2	2 x AGR	475, 470	1976	2023
Hunterston B 1&2	PWR	475, 485	1976, 1977	2023
Torness 1&2	2 x AGR	590, 595	1988, 1989	2030
Sizewell B	PWR	1198	1995	2035
Razem: 15 w eksploatacji		Moc zainstalowana: 8,883 GWe		

Tabela 2.

Wykaz reaktorów planowanych i proponowanych do budowy w UK

Operator	Elektrownia	Typ reaktora	Moc projektowana (brutto) MWe	Planowane oddanie do eksploatacji
EDF Energy	Hinkley Point C 1&2	EPR	1670	2026
		EPR	1670	2027
	Sizewell C 1&2	EPR	1670	?
		EPR	1670	?
Horizon	Wylfa Newydd 1&2	ABWR	1380	2025
		ABWR	1380	2025
	Oldbury B 1&2	ABWR	1380	Koniec lat 2020.
		ABWR	1380	
NuGen	Moorside 1&2&3	AP1000	1135	2023
		AP1000	1135	
		AP1000	1135	
CGN	Bradwell B 1&2	HL-1000	1150	?
		HL-1000	1150	
Razem: 4 planowane i 9 proponowanych		Moc projektowana: 17,9 GWe		

3.

Jądrowy cykl paliwowy

Wielka Brytania posiada jądrowy cykl paliwowy zamknięty ze wzbogacaniem uranu i przerobem wypalonego paliwa.

Na terytorium UK w latach 70. XX w. odkryto znaczne pokłady rud uranu w rejonie Orkadów. Jednak na skutek protestów lokalnej ludności nie prowadzi się tu wydobywania uranu i w całości pochodzi on z importu.

Konwersja koncentratu uranowego (*yellowcake*) do postaci sześciofluorku uranu UF_6 prowadzona jest w zakładach Springfields, które są zarządzane przez koncern Westinghouse na zasadzie dzierżawy od agencji zajmującej się likwidacją zamkniętych elektrowni jądrowych *Nuclear Decommissioning Authority* (NDA). Wydajność zakładów wynosi 6000 tU/rok.

Wzbogacanie uranu odbywa się w zakładach mieszczących się w Capenhurst. Należą one do międzynarodowego koncernu europejskiego Urenco (oprócz UK udziały mają Holandia i Niemcy). Zakłady Urenco do wzbogacania uranu wykorzystują metodę wirówek gazowych i osiągają roczną wydajność 1,1 mln SWU³.

W ośrodku w Capenhurst planowane jest uruchomienie w 2014 roku zakładów **dekonwersji** uranu *Tails Management Facility* (TMF). Ma być w nich prowadzony proces przekształcania zubożonego uranu, powstającego jako odpad

(*tails*) z linii wzbogacania, z postaci sześciofluorku UF_6 (agresywnego chemicznie i silnie trującego) do ośmiotlenku uranu U_3O_8 , który jest stabilny chemicznie i łatwy do dalszego przechowywania lub wykorzystania. Zakłady mają mieć planowaną wydajność 7000 tU/rok i przerabiać będą zubożony uran pochodzący ze wszystkich trzech zakładów Urenco w Europie: Capenhurst (UK), Almelo (NL) i Gronau (DE).

Produkcja paliwa uranowego odbywa się w zakładach w Springfields. Wytwarzane jest tu paliwo do reaktorów AGR i PWR. Produkcja paliwa do reaktorów Magnox zakończona została w roku 2008⁴.

Zjednoczone Królestwo posiada także zdolności do produkcji paliwa MOX (*Mixed oxide fuel*). Na terenie ośrodka jądrowego Sellafield znajdują się zakłady produkcji paliwa tego typu – *Sellafield MOX Plant* (SMP). Do produkcji wykorzystywany jest m.in. pluton reaktorowy odzyskiwany w procesie przerobu paliwa. Zakłady pierwotnie miały posiadać zdolność do produkcji 120 ton paliwa MOX rocznie, w większości z przeznaczeniem na eksport (głównie do Japonii), jednak w ciągu 10 lat pomimo ich modernizacji i wyposażeniu w 2010 r. w technologię dostarczoną przez francuską firmę Areva udało się wyprodukować zaledwie 14 ton tego paliwa. Przedsięwzięcie uznano za porażkę i w 2011 roku zakłady zamknięto. W ostatnim okresie

rozważana jest możliwość budowy nowych zakładów MOX w celu zagospodarowania zgromadzonego w UK cywilnego zapasu plutonu.

Przerób wypalonego paliwa dokonywany jest w zakładach Sellafield. Znajdują się tam dwie linie technologiczne: do przerobu paliwa Magnox - *B205 Magnox reprocessing plant* o wydajności 1500 tU/rok (uruchomiona w 1964 roku ma zostać zamknięta w 2016 roku) oraz do przerobu paliwa tlenkowego - *Thermal oxide reprocessing plant* – THORP o wydajności 1200 tU/rok (uruchomiona w 1994 roku). Zakład THORP zaprojektowano do przerobu wypalonego paliwa z reaktorów AGR oraz z reaktorów PWR (w tym zagranicznych). W roku 2005 w zakładach tych doszło do awarii i wycieku radioaktywnego, co spowodowało przerwę w pracy. Wznowienie przerobu paliwa nastąpiło w roku 2008. Do roku 2010 zakłady przerobiły 6000 ton wypalonego paliwa, z czego 2300 ton pochodziło z rodzimych reaktorów AGR. Dalszych 6600 ton paliwa z tych reaktorów będzie wymagało przerobu do czasu zakończenia ich pracy. Na terenie obiektu znajduje się także ok. 700 ton wypalonego paliwa pochodzącego z zagranicy, które oczekuje na przerób. W wyniku dokonanego przeglądu polityki gospodarowania wypalonym paliwem podjęto decyzję o zamknięciu zakładów

w roku 2018, po wywiązaniu się ze wszystkich podpisanych dotychczas kontraktów.

Na terenie obiektu Sellafield zgromadzono znaczną ilość (ok. 123 ton) plutonu pochodzącego z przerobu paliwa oraz ze zbytecznych zapasów militarnych. Znajduje się tam ok. 23 ton plutonu należącego do innych państw (Niemcy, Dania, Szwecja, Japonia, Francja). W porozumieniu i za zgodą *Euratom Supply Agency* Wielka Brytania (NDA) przejęła kontrolę nad tym plutonem, co umożliwiło uniknięcie kosztownego i kłopotliwego transportu do państw pochodzenia⁵. W rozliczeniu otrzymają one paliwo MOX wyprodukowane przez Francję.

Jedną z rozważanych opcji pozbycia się tego materiału jest wspomniane użycie go do produkcji paliwa MOX.⁶ Z inną koncepcją wystąpił koncern GE-Hitachi proponując budowę w Sellafield dwóch reaktorów prędkich PRISM o mocy 311 MWe i wypalenie w nich zgromadzonego plutonu. W kwietniu 2012 roku podpisano z NNL w Sellafield porozumienie w sprawie dalszych badań studyjnych w tym zakresie. Alternatywne rozwiązanie zaproponowała kanadyjska firma Candu Energy, która zaoferowała budowę 2-4 reaktorów Candu 6 pracujących na paliwie MOX o zawartości 2% Pu. Przy jednostkowym zużyciu 100 t paliwa rocznie cztery takie reaktory są zdolne do likwidacji zgromadzonego zapasu plutonu w przeciągu 15 lat. [4]. Brytyjskie narodowe centrum badań jądrowych NNL podpisało w roku 2014 kontrakt o warto-

ści 3 mln £ z europejską agencją kosmiczną (European Space Agency – ESA), w ramach którego ma ono dostarczyć radioizotop ameryk-241 wydzielony ze składowanego w Sellafield plutonu, przeznaczony do zasilania badawczych sond kosmicznych. Zgodnie z podpisanym kontraktem NNL zamierza w ciągu dwóch lat uruchomić eksperymentalną produkcję pastylek z Am-241, które zostaną następnie wykorzystane przez europejską agencję kosmiczną do produkcji radioizotopowych źródeł zasilania sond kosmicznych (*Radioisotope Power Sources* - RPS).

Dotychczas standardowym źródłem zasilania aparatury sond i próbników kosmicznych są radioizotopowe generatory termoelektryczne (*radioisotope thermoelectric generator* - RTG⁷). Zdecydowana większość generatorów RTG wykorzystuje jako źródło ciepła izotop plutonu Pu-238, który posiada wysoką wydajność termiczną (560 W/kg).

ESA uważa Am-241 za bardziej atrakcyjne źródło ciepła ponieważ jest on o wiele tańszy od Pu-238, mimo iż jego wydajność termiczna wynosi jedynie 115 W/kg i cechuje go większa aktywność promieniotwórcza gamma. Okres połowicznego zaniku Am-241 wynosi 432 lata, co będzie umożliwiać wykonywanie dłuższych lotów (88 lat dla Pu-238). Ponadto izotop Pu-238 jest obecnie prawie niedostępny na rynku – USA zaprzęstały jego produkcji w 1988 r., również Rosja przestała go sprzedawać⁸.

Potencjalne zapotrzebowanie na Am-241 do zastosowań kosmicznych będzie znacznie większe, niż to obecne - do zastosowań w detektorach dymu (0,3 mikrogram)⁹. Jeden gram tlenku ameryku dostarcza wystarczającej ilości aktywnego materiału dla 3 mln. detektorów dymu, jego koszt wynosi 1500 USD/gram. Ostateczna decyzja

o skali produkcji w NNL zależeć będzie od jej kosztów i zapotrzebowania na Am-241. Wg ocen ekspertów ESA budowa zakładów produkcji Am-241 o wydajności 10 kg/rok, ich działanie przez 10 lat i końcowy demontaż pochłonie jedynie dziesiątki mln USD, podczas gdy budowa podobnego zakładu produkcji Pu-238 pochłonięłaby setki mln USD. Energia ze źródeł promieniotwórczych jest niezbędna do dalszego rozwoju badań kosmicznych. Baterie słoneczne obecnie wystarczają do zasilania pojazdów kosmicznych do orbity Jowisza. Dalsze misje oraz lądowanie na planetach wymagać będzie stosowania źródeł jądrowych do ogrzewania i zasilania aparatury pokładowej zainstalowanej w tych sondach.

Badania kosmiczne nie są jedynym możliwym obszarem zastosowania Am-241. Naukowcy z NNL twierdzą, że zawsze będzie występować zapotrzebowanie na różne urządzenia wymagające niezależnego, stałego zasilania w energię przez okres 20-30 lat w niedostępnych lokalizacjach takich jak: głębiny morskie czy głębokie odwierty na polach naftowych. Materiał ten pochodzący z „odpadów” energetyki jądrowej może stać się dochodowym produktem eksportowym dla Wielkiej Brytanii.

Demontażem nieczynnych elektrowni jądrowych w UK zajmuje się specjalnie powołana w tym celu instytucja rządowa *Nuclear Decommissioning Authority* (NDA), która rozpoczęła swoją działalność 1 kwietnia 2005 roku. Przejęła ona m.in. wyłączne elektrownie jądrowe z reaktorami Magnox, zakłady wzbogacania uranu Capenhurst zamknięte w 1982, które stosowały przestarzałą metodę dyfuzji gazowej oraz ośrodki badawcze w Winfrith, Harwell i Dounreay. Agencja zarządza specjalnym funduszem *Nuclear Liabilities Fund* (NLF)

przeznaczonym do finansowania likwidacji nieczynnych obiektów jądrowych, który w 2010 r. wynosił 8,4 mld funtów.

NDA współpracuje m.in. z niezależną grupą technologiczną TWI w zakresie opracowania metody cięcia demontowanych instalacji jądrowych (rur, zbiorników, konstrukcji stalowych) za pomocą przenośnych laserów oraz stosowania technologii zdalnego demontażu przy użyciu robotów wyposażonych w specjalistyczne manipulatory (snake-arm) zdolne do wykonywania prac w ograniczonej przestrzeni.

Większość **odpadów promieniotwórczych** pochodzi jeszcze z okresu pionierskich badań nad energią jądrową zarówno w zastosowaniach militarnych, jak i cywilnych. Do roku 1982 część odpadów nisko- i średnioaktywnych była zatapiała na dużych głębokościach w północno-wschodnich rejonach Atlantyku. Od 1993 rząd stosuje

się do międzynarodowego zakazu usuwania odpadów promieniotwórczych do morza¹⁰.

Stałe odpady niskoaktywne są przechowywane na składowisku Low Level Waste Repository (LLWR) Drigg znajdującym się w pobliżu ośrodka Sellafield. Zostało ono uruchomione w 1959 roku i zajmuje powierzchnię 120 ha.

Odpady średnioaktywne składowane są w ośrodku Sellafield. Planowane jest uruchomienie nowego składowiska w Harwell o docelowej pojemności 2500 m³.

Odpady wysokoaktywne powstałe w procesie przerobu wypalonego paliwa są doprowadzane do postaci szklistej (witryfikacja), zamykane w zbiornikach ze stali nierdzewnej i przechowywane w Sellafield w specjalnych silosach. Do roku 2009 zakłady witryfikacji w Sellafield wykonały 5000 takich zbiorników (ok. 400 rocznie) przekształcając 3000 m³ odpadów

płynnych w 750 m³ w postaci zeszkłonej. W 2015 roku zostanie uruchomiona na terenie elektrowni Sizewell B instalacja do składowania wypalonego paliwa w przechowalnikach suchych. Wszystkie odpady wysokoaktywne mają być przechowywane przez 50 lat przed ich ostatecznym składowaniem.

Opracowaniem planów budowy ostatecznego składowiska odpadów w głębokich warstwach geologicznych zajmuje się specjalnie utworzona w tym celu w roku 2007 instytucja Radioactive Waste Management Directorate (RWMD), która wchodzi w skład NDA. Utworzenie takiego składowiska (Geological Disposal Facility – GDF) przewidywane jest na rok 2040 i ma ono przyjmować średnio- i wysokoaktywne odpady do roku 2100. Wybór miejsca składowania ma nastąpić ok. roku 2025.

1. Pierwsza elektrownia na skalę eksperymentalną o mocy 5 MWe została włączona do sieci 26 czerwca 1954 roku w Obinińsku na terenie byłego ZSRR.

2. Magnox - reaktor ciśnieniowy chłodzony dwutlenkiem węgla (CO₂) z moderatorem grafitowym, pracujący na paliwie z metalicznego uranu naturalnego (niewzbogaconego). Paliwo w tym reaktorze umieszczone było w koszulkach ze stopu magnezu z domieszką niewielkiej ilości aluminium (Magnesium non-oxidising) – stąd nazwa reaktora. Stop ten cechuje mała odporność na korozję, dlatego też wypalone paliwo nie może być przechowywane w wodzie przez długi okres i musi być poddawane procesowi przerobu.

3. Wydajność procesu wzbogacania mierzy się w jednostkach pracy rozdzielania (Separative Work Unit - SWU). Jest to złożona funkcja ilości przetworzonego uranu i uzyskanego stopnia jego wzbogacenia oraz poziomu zubożenia odpadów. Ma ona wymiar masy i wyraża się w kg SWU. Przedstawia ona ilość energii zużywaną do wzbogacenia do pewnego poziomu danej ilości uranu wyrażonej w kg. Przyjmuje się, że do wyprodukowania rocznego zapasu paliwa dla typowego lekkowodnego reaktora energetycznego o mocy 1 GWe wymagane jest ok. 140 000 kg SWU.

4. Eksploatowany jedyny reaktor tego typu został wyłączony po wyczerpaniu zapasu

paliwa w grudniu 2015 r.

5. Wydzielony pluton podobnie jak HEU stanowi znaczne zagrożenie proliferacyjne a jego transport odbywa się z zachowaniem szczególnych zasad bezpieczeństwa aby uniknąć możliwości przechwycenia ładunku przez organizacje terrorystyczne.

6. Zgromadzony zapas plutonu reaktorowego ulega procesowi starzenia i zostaje on zanieczyszczony izotopem ameryku-241 (Am-21) pochodzącym z rozpadu beta izotopu Pu-241. Po długim okresie składowania plutonu nagromadzony w nim Am-241 musi zostać usunięty bowiem posiada on zbyt dużą aktywność promieniotwórczą gamma (na skutek rozpadu alfa do Np-237), która uniemożliwia bezpośrednie wykorzystanie zanieczyszczonego plutonu do produkcji paliwa MOX. W przypadku zakładów Sellafield zgromadzony pluton zawiera ponad 3% Am-241.

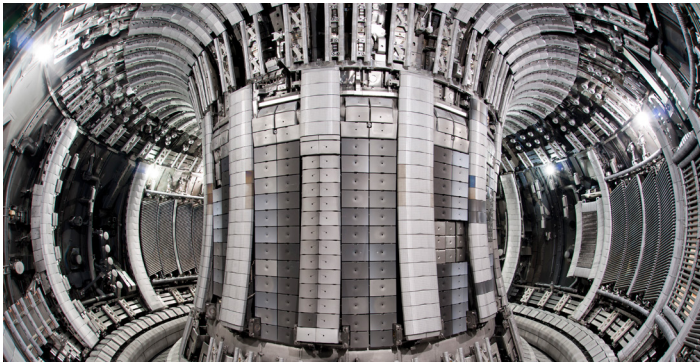
7. W generatorze RTG materiał promieniotwórczy (paliwo) jest umieszczony w pojemniku do którego wprowadzone jest jedno złącze ogniwa termoelektrycznego (termopary). Drugie złącze termopary wprowadzone jest do czynnika chłodzącego (np. przytłoczone do radiatora). Rozpad radioaktywny jest źródłem energii termicznej, która podgrzewa jeden koniec termopary. Różnica temperatur między złączami wywołuje siłę elektromotoryczną (termoelektryczną) i powoduje

przepływ prądu.

8. Dotychczas Pu-238 wytwarzany był jako produkt uboczny przy produkcji plutonu do celów zbrojeniowych. Po zaprzestaniu produkcji w 1998 roku USA kupowały Pu-238 od Rosji w cenie 45 000 USD za uncję. Zapas Pu-238, jakim dysponuje obecnie NASA wynosi ok. 18 kg. Wystarczy to do prowadzenia ograniczonych badań kosmicznych jedynie do końca bieżącej dekady.

9. Sondy kosmiczne podobne do Cassini, Voyager i Galileo, które zasilane są generatorami RTG, zawierającymi 33 kg Pu-238, będą potrzebować więcej Am-241 mimo iż sprawność generatorów znacznie wzrosła w ostatnim okresie. Zasilanie pojazdu marsjańskiego Curiosity wymagać będzie 15-20 kg Am-241 – zamiast 4,8 kg Pu-238, zawartego obecnie w generatorze typu MMRTG o mocy 2 kW(termicznej) i 110 W (elektrycznej). Do produkcji 10 kg Am-241 niezbędne jest użycie ok. 250 kg plutonu z przerobu wypalonego paliwa jądrowego.

10. Konwencja Londyńska (Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji, także: LC 1972 od London Convention) – międzynarodowa umowa sporządzona w Londynie, Meksyku, Moskwie i Waszyngtonie 29 grudnia 1972 roku, a ratyfikowany przez Polskę 29 lutego 1978 roku.



Fotografia 1.
Wnętrze Tokamaka JET



Fotografia 2.
Pojazd Curiosity zasilany MMRTG
fot. NASA

4.

Organy dozorowe, bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna

Podstawowym aktem prawnym określającym zasady budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych w UK jest *Nuclear Installations Act* z 1965 r.

Rolę niezależnego organu nadzoru nad programem jądrowym pełni instytucja *Health and Safety Executive* (HSE), która reguluje sprawy bezpieczeństwa wszystkich obiektów jądrowych i wydaje zgodę na ich eksploatację. W jej skład wchodzi: *Office for Nuclear Regulation* (ONR) – zajmujące się bezpieczeństwem jądrowym i pełniące rolę dozoru jądrowego, *Office for Civil Nuclear Security* (OCNS) – odpowiedzialne

za ochronę obiektów jądrowych oraz *UK Safeguards Office* (UKSO) – odpowiedzialne za system zabezpieczeń Układu NPT.

Zasady ochrony radiologicznej reguluje akt *Ionising Radiations Regulations* z 1999 roku.

Zasady postępowania z odpadami promieniotwórczymi regulowane są przez *Radioactive Substances Act* z 1993 roku.

Na terytorium UK w przeszłości miały miejsce dwie poważne awarie jądrowe:

- Windscale (8.10.1957 r.): nastąpiło zapalenie się rdzenia z grafitu w reaktorze do produkcji plutonu.

Gazy wylotowe porywając materiały promieniotwórcze zawarte w rdzeniu spowodowały skażenie radioaktywne pobliskiej okolicy. Awarii nadano stopień 5 w siedmioletniej skali INES;

- Sellafield (19.04.2005 r.): nastąpiło pęknięcie rurociągu w zakładach przerobu paliwa THORP i wyciek 20 ton uranu i 160 kg plutonu do obudowy bezpieczeństwa, która powstrzymała dalsze uwolnienie do otoczenia. Awarii nadano stopień 3 w skali INES.

5. Badania i rozwój technologii jądrowych

Chociaż UK było jednym z państw pionierskich w rozwoju energii jądrowej, które opracowało samodzielnie projekty reaktorów Magnox i AGR oraz wyprodukowało dla nich paliwo jądrowe, to od lat 80. ubiegłego wieku nie prowadzi się w nim znaczących badań naukowych w dziedzinie energetyki jądrowej.

Z 36 reaktorów badawczych eksploatowanych w przeszłości do chwili obecnej pozostał tylko jeden zestaw krytyczny *Neptun* w m. Derby eksploatowany przez firmę Rolls Royce, który wykorzystywany jest do badań nad konstrukcją reaktorów do napędu okrętów podwodnych.

W przeszłości Wielka Brytania miała znaczące osiągnięcia w budowie reaktorów prędkich, z których najbardziej zaawansowanym był prototypowy reaktor *Prototype Fast Reactor* (PFR) eksploatowany w latach 1974-1994 w ośrodku Dounreay. Był to reaktor typu basenowego o mocy 250 MWe, chłodzony ciekłym sodem i pracujący na paliwie typu MOX.

Oprócz osiągnięć w dziedzinie energetycznych reaktorów

prędkich UK ma także znaczący udział w badaniach nad zastosowaniem syntezy jądrowej do celów energetycznych. W 1978 r. Euroatom uruchomił międzynarodowy program *Joint European Torus* (JET). W ramach tego projektu na terenie ośrodka badań jądrowych *Culham Science Centre* (CSC) zbudowano największe działające obecnie na świecie urządzenie do przeprowadzania kontrolowanej reakcji termojądrowej typu tokamak. Pierwsze eksperymenty z użyciem JET rozpoczęto w 1983 r. i w listopadzie 1991 r. po raz pierwszy przeprowadzono w nim kontrolowaną fuzję jądrową. Koordynacją badań zajmuje się organizacja *European Fusion Development Agreement* (EFDA). Reaktor jest przystosowany do reakcji syntezy termojądrowej z wykorzystaniem deuteru i trytu. JET osiągnął rekordową moc syntezy termojądrowej – 16 MW. W ośrodku Culham działa także od roku 1999 inne urządzenie do badań nad kontrolowaną fuzją jądrową - *Mega Amp Spherical Tokamak* (MAST). Aktualnie prowadzone eksperymenty z użyciem JET i MAST mają

postulować głównie do projektowania międzynarodowego reaktora termojądrowego ITER we Francji.

W listopadzie 2015 r. *Department of Energy and Climate Change* (DECC) uruchomił program badawczy o wartości 250 mln £ mający na celu „reaktywować kompetencje UK w dziedzinie energii jądrowej” szczególnie w obszarze reaktorów modułowych małej mocy.

W ramach współpracy z Chinami przy projekcie Hinkley Point zostanie utworzony ośrodek badawczy *Joint Research and Innovation Centre* (JRIC) w Kumbrii, wspólnie zarządzany przez brytyjskie laboratorium NNL i chiński koncern CNNC w ramach współpracy pomiędzy prowincjami Kumbrią i Sichuan. Prace badawcze realizowane przez to centrum dotyczyć mają optymalizacji systemów energetycznych oraz rozwijaniu innowacyjnych jądrowych cykli paliwowych gwarantujących efektywne wykorzystanie materiałów rozszczepialnych i bezpieczne postępowanie z odpadami promieniotwórczymi.

6. Zagadnienia nieproliferacyjne

Wielka Brytania jest jednym z 5 państw nuklearnych w rozumieniu Układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (NPT) i posiada broń jądrową (ok. 180 głowic) [8] służącą do odstraszenia ewentualnej agresji skierowanej przeciwko UK (tzw. *nuclear deterrence*). Jest ona rozmieszczona wyłącznie na atomowych okrętach podwodnych typu *Vanguard*. W latach 1952-91 Wlk. Brytania przeprowadziła 45

testów jądrowych (w większości na terytorium Australii). Państwo to ratyfikowało Układ NPT w 1968 r. Zgodnie z Porozumieniem o Systemie Zabezpieczeń NPT (*safeguards*) podpisanym z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA) w 1972 r. wszystkie cywilne obiekty jądrowe znajdują się pod nadzorem Agencji i są wykorzystywane wyłącznie do celów pokojowych. W 1998 r. został podpisany

Protokół Dodatkowy do tego porozumienia zwiększający uprawnienia inspekcyjne MAEA.

UK aktywnie działa na arenie międzynarodowej w zakresie przeciwdziałania rozprzestrzenianiu się broni jądrowej i bierze udział w systemie kontroli eksportu materiałów jądrowych poprzez uczestniczenie w inicjatywach takich jak: *Komitet Zanggera* i *Grupa Dostawców Jądrowych*.

7.

Wykaz organizacji i podmiotów zaangażowanych w program jądrowy UK

AERE – Atomic Energy Research Establishment
B205 – Magnox reprocessing plant
CGN – China General Nuclear Corporation
CNNC – China National Nuclear Corporation
CSC – Culham Science Centre
EFDA – European Fusion Development Agreement
GDF – Geological Disposal Facility
HSE – Health and Safety Executive
JET – Joint European Torus
LLWR – Low Level Waste Repository
MAST – Mega Amp Spherical Tokamak
Magnox – Magnesium non-oxidising
MOS – Ministry of Supply
NLF – Nuclear Liabilities Fund
NNL – National Nuclear Laboratory
NDA – Nuclear Decommissioning Authority

Nuclear Installations Act

OCNS – Office for Civil Nuclear Security
ONR – Office for Nuclear Regulation
PFR – Prototype Fast Reactor

Radioactive Substances Act

RWMD – Radioactive Waste Management Directorate
SGHWR – Steam Generating Heavy Water Reactor
SMP – Sellafield MOX Plant
SNUPPS – Standardized Nuclear Unit Power Plant System
THORP – Thermal oxide reprocessing plant
TMF – Tails Management Facility
UKAEA – United Kingdom Atomic Energy Authority
UKSO – UK Safeguards Office

Źródła

Program jądrowy we Francji

- [1] Nuclear Power in France, WNA, March 2016
- [2] World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, WNA, May 2016
- [3] French parliament approves energy transition, WNN, 13 October 2014
- [4] Uranium 2014: Resources, Production and Demand, OECD/NEA-IAEA
- [5] World uranium Mining Production, WNA, May 2016
- [6] Designing the Cigéo disposal site, WNN, 02 July 2014
- [7] EDF's emergency response force in place, WNN, 12 March 2014
- [8] Research Nuclear Reactors, CEA, 2012
- [9] Deep sea fission, WNN, 20 January 2011

Program jądrowy w Wielkiej Brytanii

- [1] Country profile: Nuclear Power in the United Kingdom, WNA, May 2016
- [2] Small Modular Reactors (SMR) Feasibility Study, NNL, December 2014
- [3] National Nuclear Laboratory urges UK investment in SMRs, WNN, 04 December 2014
- [4] Westinghouse proposes UK deployment of small modular reactor, WNN, 21 October 2015
- [5] UK government launches SMR competition, WNN, 18 March 2016
- [6] Pavel Podvig, UK civilian plutonium and uranium stocks in 2013, IPFM, August 15, 2014
- [7] Can americium replace plutonium in space missions?, WNN, 28 July 2014
- [8] Global Fissile Material Report 2015, IPFM, December 2015



MINISTERSTWO ENERGII

