

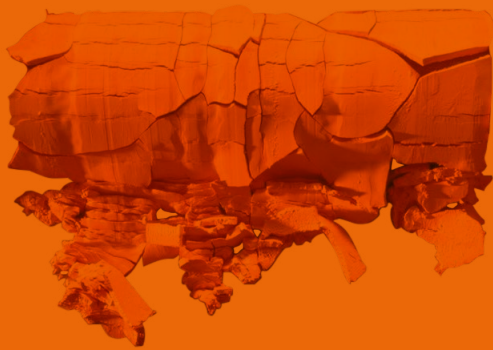
# Program jądrowy w Republice Korei

---

# Program jądrowy w Chinach

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ  
ANALIZY I OPRACOWANIA





## YELLOWCAKE

Yellowcake – koncentrat uranowy otrzymywany w zakładzie przerobu rud uranu. Nazwa pochodzi od charakterystycznego zabarwienia sproszkowanego produktu. Zawiera on 70-90%  $U_3O_8$ , który jest układem stabilnym chemicznie i może być w tej postaci przechowywany lub transportowany. Jako gotowy produkt handlowy pakowany jest i wysyłany w specjalnych 200 litrowych pojemnikach.

# Program jądrowy w Republice Korei

Energia jądrowa pozostaje strategicznym priorytetem dla Korei Płd. Dąży ona do opanowania pełnego cyklu paliwowego i uzyskania pozycji jednego ze światowych eksporterów technologii jądrowych. Obecnie realizuje kontrakt na budowę czterech reaktorów jądrowych w ZEA za sumę 20 mld \$.

W Republice Korei eksploatowanych jest 25 reaktorów energetycznych o łącznej mocy 23,02 GWe, które dostarczają ponad 30% krajowej produkcji energii elektrycznej. Planowany jest wzrost o 70% zainstalowanej mocy do 37 GWe w 2029 r. i utrzymywanie tego poziomu do roku 2035.

# 1.

## Bilans energetyczny

Republika Korei posiada minimalne zasoby energetyczne (jedynie węgiel słabej jakości) i prawie całe paliwo (97%) dla elektrowni importuje drogą morską. Koszty zakupu paliwa w 2011 r. wyniosły 170 mld. \$ (ok. 30% całkowitego importu krajowego), a energetyka jądrowa pozwoliła je zmniejszyć o ok. 20 mld. \$.

Krajowa produkcja energii elektrycznej w 2013 r. wyniosła 539 TWh, z czego 242 TWh wyprodukowano w elektrowniach węglowych (44,9%), 139 TWh w jądrowych (25,8%), 123 TWh w gazowych (22,8%), 22 TWh zasilanych ropą naftową (4%) i 8 TWh z hydroelektrowni (1,5%). Na koniec 2012 r. zainstalowana moc elektrowni wynosiła 94,2 GWe i planowany jest jej stały wzrost, aż do osiągnięcia

101 GWe w 2020 r. [1]

Korea Płd. eksploatuje 25 reaktorów jądrowych w 4 elektrowniach (Kori, Hanbit, Hanul i Wolsong), których sumaryczna moc wynosi 23,02 GWe. W roku 2015 wyprodukowały one 157,2 TWh, co stanowiło 31,7% krajowej produkcji energii elektrycznej (odpowiednio 149,2 TWh i 30,4% w roku 2014). [2]

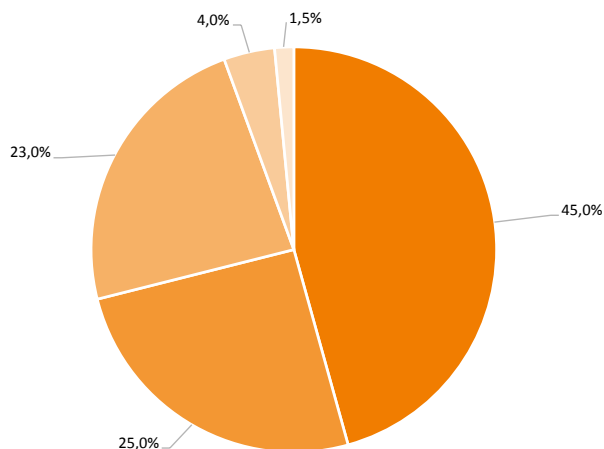
Do 2020 r. moc zainstalowana w elektrowniach jądrowych ma wzrosnąć do 26,4 GWe dostarczając ponad 220 TWh energii elektrycznej rocznie, co stanowić ma ok. 43% produkcji krajowej. Rząd w Seulu przewiduje, że w 2035 r. elektrownie jądrowe będą dysponować mocą ok. 33 GWe (ok. 30% mocy krajowej) i pokrywać połowę zapotrzebowania kraju na ten typ energii.

W ostatnich latach reaktory koreańskie uzyskiwały średni współczynnik obciążenia wyn. 96,5% co jest jednym z najwyższych wyników na świecie.

Głównym przedsiębiorstwem energetycznym w Korei Płd. jest Korea Electric Power Corporation (KEPCO). Produkuje ono ponad 93% energii elektrycznej w kraju (reszta spoczywa w rękach niezależnych, głównie prywatnych producentów). Rząd posiada 49% akcji tego przedsiębiorstwa. Część firmy odpowiedzialna za produkcję energii elektrycznej jest podzielona na sześć podmiotów i cała produkcja jądrowa wraz z niewielkim udziałem hydro wchodzi w skład największego z nich – Korea Hydro & Nuclear Power Co Ltd (KHNP).

### Wykres 1.

Bilans energetyczny Korei Płd. w 2013 r.



## 2.

# Energetyka jądrowa

Program rozwoju energetyki jądrowej został zapoczątkowany w Republice Korei w 1957 r. po uzyskaniu przez nią członkostwa w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA). W kolejnym roku uchwalono podstawowy akt prawny - Atomic Energy Law, w 1959 powołano urząd ds. energii jądrowej - Office of Atomic Energy, a w 1962 r. uruchomiono w Seulu pierwszy reaktor badawczy KRR-1 typu TRIGA Mark II. Posiadając niewielkie zasoby paliw kopalnych Republika Korei postawiła na energię jądrową, która miała zapewnić pokrycie rosnącego zapotrzebowania na elektryczność, wynikającego z dynamicznego rozwoju przemysłowego kraju.

Pierwszy reaktor energetyczny Kori-1 został włączony do sieci w kwietniu 1978 r. Następnie w latach 80. oddano kolejnych osiem reaktorów. Kori-1 i Kori-2 były zbudowane przez amerykańską firmę Combustion Engineering (obecnie jest częścią Westinghouse Electric), Trzeci obiekt Wolson-1 został skonstruowany przez Atomic Energy of Canada Limited (AECL). Te trzy obiekty zakupione zostały jako projekty „pod klucz”. Następnymi sześć reaktorów Kori-3 i 4, Yonggwang-1 i 2, Ulchin-1 i 2 były także konstrukcjami zagranicznymi lecz już z większym udziałem krajowych firm - głównie Hyundai. Pod koniec lat 80. Korea Płd. eksploatowała sześć reaktorów

energetycznych konstrukcji Combustion Engineering, dwa Framatome (obecnie Areva) i jeden AECL.

Korea następnie rozpoczęła proces zastępowania konstrukcji zagranicznych rodzimymi rozwiązaniami oraz dążyła do standaryzacji technologii jądrowych. W tym celu w 1987 r. podpisała 10-cio letnią umowę o współpracy i transferze technologii z Combustion Engineering. Jako podstawę do standaryzacji wybrała dwupiętrowy system wytwarzania pary - CE System 80. Został on po raz pierwszy z powodzeniem zastosowany w blokach Hanbit-3 i 4. Kolejnym etapem rozwoju rodzimej technologii było opracowanie projektu standardowej elektrowni jądrowej - Korean Standard Nuclear Plant (KSNP). Od 1995 r. wszystkie EJ w Korei Płd. są budowane prawie wyłącznie w oparciu o rodzime technologie.

Projekt KSNP został następnie rozwinięty do wersji KSNP+ (o zwiększonym poziomie bezpieczeństwa przy mniejszych kosztach budowy) i w 2005 r. pod nazwą OPR-1000 (Optimised Power Reactor) zaoferowany jako wersja eksportowa na wschodzące rynki azjatyckie (Indonezja, Wietnam). Obecnie Korea Płd. eksploatuje dziesięć reaktorów OPR-1000.

Kolejnym etapem w rozwoju rodzimych konstrukcji reaktorów energetycznych jest reaktor APR-1400 (Advanced Pressurised

Reactor), bazujący na systemie CE System 80+, który posiada amerykański certyfikat NRC jako reaktor III generacji. Prace nad APR-1400 rozpoczęto w roku 1992, główny projekt ukończono w 1999 r. i w maju 2003 roku uzyskał on certyfikat koreańskiego instytutu ds. bezpieczeństwa jądrowego - Korean Institute of Nuclear Safety (KINS). Projekt opracowany został przez firmę Korea Power Engineering Company (KOPEC), a głównym jego wykonawcą jest firma Doosan. Reaktor ten o mocy nominalnej 1455 MWe cechuje zwiększony stopień odporności sejsmicznej wynoszący 300 Gal<sup>l</sup>, posiada 60-letni okres gwarantowanej eksploatacji i zmniejszony koszt budowy o 10-20% w stosunku do OPR-1000. Obecnie w Korei Płd. eksploatowany jest jeden reaktor APR-1400, budowane są trzy, a kolejne cztery są planowane. Cztery reaktory tego typu budowane są przez KEPCO w ZEA (EJ Barakah).

Bazując na postępie rodzimej myśli technicznej, jaki uzyskano w trakcie projektowania KSNP w roku 2007 firma KHNP zdecydowała się nie przedłużać porozumienia o transferze technologii z firmą Westinghouse i obie strony doszły do porozumienia, że każda z nich może dysponować technologią, którą opracowano wspólnie i że nie będą konkurować ze sobą przy zdobywaniu zagranicznych

kontraktów na budowę APR-1400. Ponieważ Westinghouse wciąż pozostaje właścicielem kilku patentów niezbędnych przy budowie APR-1400, które przejął kupując firmę Combustion Engineering to prawdopodobnie nie zgodzi się na wejście KEPCO na dochodowe rynki: chiński i amerykański bez uprzedniego zakupu przez nią praw do tych technologii. KHNP stara się więc rozwijać produkcję własnych komponentów mogących zastąpić te, na które wymagana jest licencja Westinghouse'a. Powstał w ten sposób projekt zaawansowanego reaktora o większej mocy APR+ (1500 MWe), który w roku 2014 uzyskał aprobatę komisji ds. bezpie-

czeństwa jądrowego (NSSC). Posiada on budowę modułową, większą liczbę zestawów paliwowych niż APR-1400, wzmocnioną obudowę bezpieczeństwa oraz pasywny układ odbioru ciepła powyłączeniowego. Jego czas budowy ma być krótszy niż APR-1400 i wynosić 36 miesięcy (48 mies. dla APR-1400).

Obecnie w Korei Płd. eksploatowanych jest 25 reaktorów energetycznych w 4 elektrowniach o sumarycznej zainstalowanej mocy elektrycznej 23,017 GWe.

Cztery reaktory w elektrowni Wolsong są reaktorami ciężkowodnymi ciśnieniowymi (PHWR) typu CANDU, pozostałe 21 - to reaktory lekkowodne ciśnieniowe (PWR).

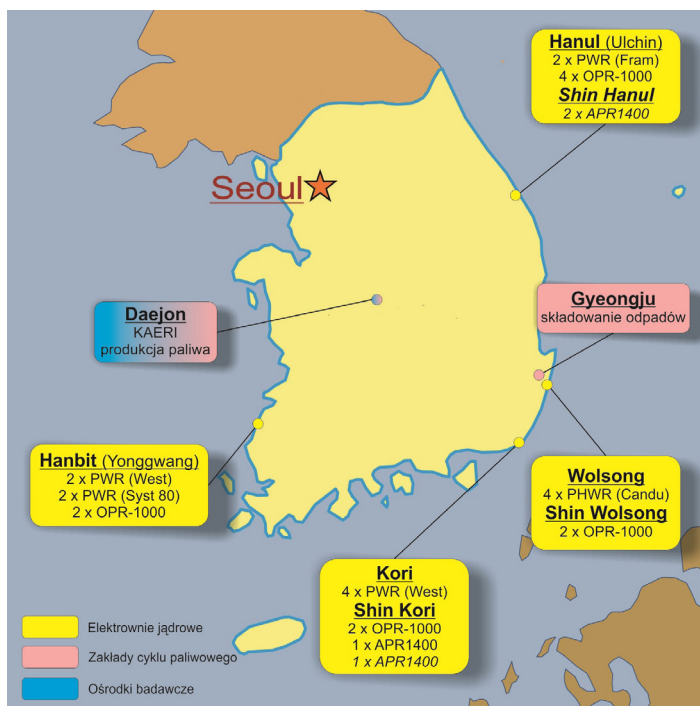
Reaktory PWR należą do pięciu typów:

- PWR – Westinghouse – 6 szt.;
- PWR – Framatome – 2 szt.;
- PWR – Syst 80 – 2 szt.;
- OPR-1000 – 10 szt.;
- APR-1400 – 1 szt.

W chwili obecnej w Korei Płd. budowane są trzy reaktory energetyczne o projektowanej mocy 4,2 GWe oraz planowana jest budowa kolejnych 8 reaktorów o przewidywanej mocy 11,6 GWe.

### Mapa 1.

Rozmieszczenie głównych obiektów jądrowych w Korei Płd.



**Tabela 1.**

Wykaz reaktorów energetycznych eksploatowanych w Korei Płd.

Lp.	Reaktor	Typ	Moc zainstalowana (netto) MWe	Oddanie do eksploatacji
1.	Kori-1,2,3,4	PWR – Westinghouse	576	4/78
		PWR – Westinghouse	640	7/83
		PWR – Westinghouse	1011	9/85
		PWR – Westinghouse	1010	4/86
	Shin Kori-1,2,3	OPR-1000	999	2/11
		OPR-1000	1000	7/12
		APR-1400	1340	5/16
2.	Wolsong-1,2,3,4	PHWR – Candu	657	4/83
		PHWR – Candu	650	7/97
		PHWR – Candu	665	7/98
		PHWR – Candu	669	10/99
	Shin Wolsong-1,2	OPR-1000	998	7/12
		OPR-1000	1000	7/15
3.	Hanbit <sup>2</sup> /Yong-gwang-1,2,3,4,5,6	PWR – Westinghouse	961	8/86
		PWR – Westinghouse	977	6/87
		PWR – Syst 80	1000	12/95
		PWR – Syst 80	998	3/96
		OPR-1000	994	5/02
		OPR-1000	993	12/02
4.	Hanul/Ulchin-1,2,3,4,5,6	PWR – Framatome	963	9/88
		PWR – Framatome	965	9/89
		OPR-1000	997	8/98
		OPR-1000	999	12/99
		OPR-1000	998	7/04
		OPR-1000	997	4/05
Razem: 25 w eksploatacji			Moc zainstalowana: 23,017 GWe	

**Tabela 2.**

Wykaz reaktorów energetycznych budowanych i planowanych w Korei Płd.

Lp.	Reaktor	Typ	Moc projektowana (brutto) MWe	Rozpoczęcie budowy	Planowane oddanie do eksploatacji
1.	Shin Kori-4	APR-1400	1400	8/2009	2/2017
2.	Shin Hanul/Ulchin-1	APR-1400	1400	7/2012	4/2017
3.	Shin Hanul/Ulchin-2	APR-1400	1400	6/2013	2/2018
4.	Shin Kori-5	APR-1400	1400	9/2016	3/2021
5.	Shin Kori-6	APR-1400	1400	9/2018	3/2022
6.	Shin Hanul/Ulchin-3	APR-1400	1400	2018	2022
7.	Shin Hanul/Ulchin-4	APR-1400	1400	2019	2023
8.	Cheonji-1	APR+	1500	2022	2026
9.	Cheonji-2	APR+	1500	2023	2027
10.	Shin Kori-7	APR+	1500		
11.	Shin Kori-8	APR+	1500		
Razem: 3 w budowie i 8 planowanych			Moc projektowana: 15,8 GWe (4,2 + 11,6)		

1. Gal jest jednostką przyspieszenia w układzie CGS i wynosi  $1 \text{ cm/s}^2$ . Stosowana w grawimetrii do pomiarów anomalii pola grawitacyjnego oraz w sejsmologii i inżynierii antysejsmicznej do pomiarów przyspieszenia

ruchu gruntu (tzw. peak ground acceleration - PGA) w czasie trzęsienia ziemi.  
2. W maju 2013 r. nazwy dwóch elektrowni – Yonggwang i Ulchin zostały zmienione odpowiednio na: Hanbit i Hanul na skutek żądań

miejsowych rybaków, którzy twierdzili, że problemy występujące w tych elektrowniach niszczą wizerunek ich tradycyjnych połowów.



### 3.

## Plany ekspansji przedsiębiorstw koreańskich na rynki zagraniczne

Pierwszym projektem eksportowym realizowanym przez Republikę Korei był kontrakt na budowę reaktora badawczego w Jordanii (Jordanian Research and Training Reactor - JRTR). Został on podpisany w grudniu 2009 r., a jego wartość wynosiła 173 mln \$. W sierpniu 2013 r. uzyskano ostateczną zgodę jordańskiego dozoru jądrowego na rozpoczęcie budowy, która ma się zakończyć w roku 2016. Reaktor JRTR został zaprojektowany przez instytut Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) na bazie reaktora własnej konstrukcji HANARO. Moc cieplna reaktora ma wynosić 5 MWt, ale wartość ta może wzrosnąć w przyszłości do 10 MWt. Reaktor budowany jest przez firmę Daewoo na terenie Jordan University of Science and Technology (JUST) w m. Irbid 70 km na północ od Ammanu. Reaktor zostanie wykorzystany do badań nad wiązkami neutronowymi, do produkcji radioizotopów medycznych oraz do szkolenia jordańskich inżynierów i naukowców. Paliwo dostarczać będzie Areva, która podpisała kontrakt z koreańskim konsorcjum KAERI/Daewoo na dostawy paliwa do pierwszego rdzenia reaktora oraz partii załadunkowej, a jego realizację rozpoczęto w 2015 r.

KEPCO aktywnie reklamuje reaktory OPR-1000 i APR1400 w państwach na Bliskim Wschodzie i Afryce Płn. oraz Azji Płd.-

-Wsch. W grudniu 2009 r. reaktor APR1400 został wybrany przez rząd Zjednoczonych Emiratów Arabskich jako reaktor bazowy dla programu energetyki jądrowej zapoczątkowanego przez to państwo. Przetarg wygrany przez KEPCO przewiduje zbudowanie do roku 2020 elektrowni jądrowej w Barakah składającej się z czterech reaktorów APR1400 o całkowitej mocy 5,6 GWe. Wartość kontraktu wynosi 20 mld \$. KEPCO planuje uzyskać dodatkowo 20 mld \$ z tej inwestycji tytułem opłat za obsługę i utrzymanie elektrowni w ruchu oraz dostawy paliwa przez okres 60 lat jej eksploatacji. Budowę pierwszego bloku rozpoczęto w lipcu 2012 r., a oddanie go do eksploatacji przewidziane jest na rok 2017. W maju 2013 r. rozpoczęto wylewanie betonu pod fundament drugiego bloku.

Oferta KEPCO została wybrana m.in. ze względu na czas i koszt budowy, wynoszące odpowiednio: 48 mies. i 2300 \$/kW (3,03 €/kWh). Okazały się one być niższe od ofert konkurentów: Areva EPR – 57 mies. i 2900 \$/kW (3,93 €/kWh) oraz GE ABWR – 48 mies. i 3580 \$/kW (6,86 €/kWh). Dodatkowymi czynnikami działającymi na korzyść oferty koreańskiej były dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji krajowych reaktorów w zakresie terminowości budowy i ich niskiej awaryjności. [3]

Republika Korei planuje dalszą ekspansję przemysłu jądrowego na rynki międzynarodowe. Bazując na sukcesie osiągniętym przy transakcji ze Zjednoczonymi Emiratami Arabskimi firma KOPEC opracowuje model reaktora APR1400-EUR przeznaczony na rynek europejski (szczególnie dla Finlandii, również dla Polski, Rumunii i Ukrainy). Będzie on posiadać podwójną obudowę bezpieczeństwa, chwytacz stopionego rdzenia i większą moc nominalną 1550 MWe.

Niektóre cechy reaktora APR włączane są również do projektu OPR-1000 w celu uzyskania wersji eksportowej tego reaktora APR-1000 przeznaczonej na rynki bliskowschodnie i południowoazjatyckie. Gwarantuje on 60 lat pracy i poprawę bezpieczeństwa eksploatacji. Spowoduje to wzrost kosztów inwestycyjnych lecz zostanie on zrekompensowany poprzez redukcję czasu budowy (40 miesięcy zamiast 46) wynikającą z zastosowania konstrukcji modułowej. KEPCO podpisała w 2007 roku porozumienie z producentem energii w Indonezji firmą PT Medeo Energi Internasional w sprawie opracowania wspólnie z KHNP studium wykonalności dla budowy elektrowni jądrowej z reaktorami OPR-1000.

KEPCO wspólnie z firmą Doosan zaoferowały w 2008 r. także Jordanii budowę reaktora OPR-1000.

Wymagałoby to jednak zwiększenia jego odporności sejsmicznej z 200 do co najmniej 300 Gal. Jordania wstępnie rozważała budowę reaktora APR1400 lecz zrezygnowała z tego projektu i w maju 2013 r. ogłosiła zawieszenie planów budowy elektrowni jądrowej.

Kontrakt zawarty ze Zjednoczonymi Emiratami Arabskimi stał się potwierdzeniem ambicji koreańskich na dalszą ekspansję rodzimych technologii jądrowych na rynki zagraniczne. Długofalowym celem koreańskiego przemysłu jądrowego jest osiągnięcie do roku 2030 eksportu 80 reaktorów za sumę 400 mld USD, co dałoby Korei trzecie miejsce wśród eksporterów technologii jądrowych i 20% udział w światowym rynku. Dla realizacji tego celu firma KEPCO prowadzi

obecnie intensywne działania marketingowe ukierunkowane na rynki w Indiach, Indonezji, Wietnamie, Tajlandii, Malezji, RPA, Turcji i na Bliskim Wschodzie oraz w Europie.

W marcu 2015 r. Korea i Arabia Saudyjska podpisały porozumienie ramowe w sprawie budowy co najmniej dwóch reaktorów energetycznych modułowych małej mocy SMART konstrukcji koreańskiej w ośrodku badań jądrowych i energii odnawialnej Saudi Arabia's King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy (KA-CARE) w Rijadzie. Reaktor ten jest zaprojektowany zarówno do produkcji energii elektrycznej jak i do odsalania wody. Oba państwa będą prowadzić 3-letnie badania nad możliwością budowy reaktorów tego typu w Arabii Saudyjskiej.

Koszt budowy pierwszego reaktora SMART przewidywany jest na 1 mld USD. Porozumienie zakłada również wspólne działania promocyjne tego reaktora w państwach trzecich.

Kolejnym porozumieniem podpisanym przez rząd w Seulu jest porozumienie ramowe zawarte w marcu 2015 r. z Katarą w sprawie wspólnych badań nad pokojowym wykorzystaniem energii jądrowej i rozwojem zasobów ludzkich na jego potrzeby. W ramach tego porozumienia oba państwa mają współpracować przy budowie reaktora badawczego i szkoleniu ekspertów jądrowych.

## 4.

# Jądrowy cykl paliwowy

Republika Korei realizuje politykę otwartego jądrowego cyklu paliwowego, bez wzbogacania uranu i przerobu wypalonego paliwa. W 1992 r. wraz z Koreą Płn. podpisały Wspólną Deklarację w sprawie Denuklearyzacji Półwyspu Koreańskiego, w której m.in. zobowiązały się do nieposiadania instalacji do wzbogacania uranu i przerobu wypalonego paliwa<sup>3</sup>.

Na terytorium Korei Płd. znajdują się pokłady rudy uranowej o zawartości 300-500 ppm<sup>4</sup> uranu, zlokalizowane w środkowej części kraju w tzw. Pasie Ogchon. Zidentyfikowane one zostały w 1986 r. przez Korean Institute of Energy and Resources (KIER). Przewidywana ilość uranu zawarta w tych pokładach wynosi ok. 25.000 tU. Wyłączne prawa do eksploracji tych złóż posiada firma Stonehenge Metals Limited z siedzibą w Perth, Australia. Firma ta posiada także prawa do eksploatacji kolejnych złóż Miwon i Gwesan. Państwowa firma koreańska Korean Resources Corporation (KORES) jest właścicielem złoża Gumsan przylegającego od południa do złoża Deajon. [4]

Do chwili uruchomienia własnych zasobów uranu niezbędny do zasilania floty reaktorów energetycznych w całości pochodzi obecnie z zagranicy - głównie z Kazachstanu, Kanady, Australii i Nigru. Import w roku 2014 wyniósł 5000 tU i przewiduje się jego wzrost do 8900 tU w 2020 r. Koreańskie firmy KEPCO, KNFC,

Hanwha i KHNP zaangażowane są w eksploatację złóż w Kanadzie natomiast firma KORES zamierza inwestować w kopalnie uranu i miedzi w Afryce i Ameryce Płd. W grudniu 2009 r. KEPCO przejęła 20% akcji firmy Imouraren w Nigrze co zapewni jej pozyskiwanie 500 tU rocznie przez okres 35 lat.

Republika Korei nie posiada żadnych zdolności w zakresie wzbogacania uranu. Zapotrzebowanie na tą usługę (1,8 mln SWU<sup>5</sup> w roku 2006) w całości jest pokrywane przez firmy zagraniczne - w przeszłości głównie przez Tenex, Urenco i USEC. W 2007 roku przedsiębiorstwo KHNP podpisało długoletni kontrakt o wartości 1 mld € z firmą Areva NC na wykonywanie usług wzbogacania w zakładach Georges Besse II we Francji i następnie w 2009 roku przejęło 2,5% udziałów w tej spółce.

Korea Płd. posiada rozwiniętą technologię produkcji paliwa zarówno do reaktorów PWR jak i Candu. Firma KEPCO Nuclear Fuel Company (KNFC) od 1990 r. dostarcza wzbogacone paliwo do reaktorów lekkowodnych PWR (700 t/rok) i od 1987 r. niewzbogacone do reaktorów ciężkowodnych PHWR (400 t/rok), co w całości pokrywa zapotrzebowanie floty reaktorów eksploatowanych przez KHNP. Utworzona w 2009 r. spółka KNFC z Westinghouse - KW Nuclear Components produkuje paliwo

do reaktorów konstrukcji Combustion Engineering eksploatowanych zarówno w USA jak i w Korei. Ma ona także wytwarzać w zakładach w Daejeon nowy typ paliwa do budowanych obecnie reaktorów APR1400.

W celu prowadzenia prawidłowej gospodarki odpadami parlament koreański uchwalił ustawę Radioactive Waste Management Act, w ramach której utworzono w 2009 roku organizację Korea Radioactive Waste Management Corporation (KRMC) do zarządzania wszystkimi odpadami promieniotwórczymi. KRMC w roku 2013 przekształcono w Korea Radioactive Waste Agency (KORAD), która realizuje program postępowania z odpadami opracowany przez Nuclear Environment Technology Institute (NETEC). Ma ona do dyspozycji środki finansowe gromadzone na specjalnym funduszu, pochodzące ze składek wpłacanych przez przedsiębiorstwa KHNP i KNFC.

W październiku 2013 r. w utworzono ciało doradcze składające się z 13 przedstawicieli przemysłu jądrowego, nauki, samorządu i organizacji ekologicznych Public Engagement Commission on Spent Nuclear Fuel Management (PECOS), które ma na celu uwzględnianie opinii publicznej w realizacji rządowej polityki odpadowej.

W oczekiwaniu na powstanie centralnego przejściowego

składowiska, wypalone paliwo jest przechowywane przy reaktorach (w przechowalnikach mokrych lub suchych). Ma ono zostać uruchomione w 2035 roku i posiadać zdolność gromadzenia 20.000 ton zużytego paliwa. Obecnie w przechowalnikach zgromadzono ponad 10.000 ton wypalonego paliwa i dotychczasowe możliwości gromadzenia tych odpadów w istniejących składowiskach przy elektrowniach wyczerpią się w latach 2019 (Wolsong) – 2021 (Hanbit). Według ocen KHNP jeśli nie zostanie ograniczona ich ilość koreański przemysł jądrowy stanie przed koniecznością zamknięcia pracujących reaktorów. Rozważana jest również opcja składowania wypalonego paliwa za granicą, np. na terenie Australii Płd. – jeśli budowane tam składowisko będzie dostępne dla innych krajów.

Ze względu na trudności w znalezieniu miejsca na centralne składowisko, wynikające z wysokiej gęstości zaludnienia i istniejących uwarunkowań prawnych, jedynym racjonalnym rozwiązaniem problemu składowania wypalonego paliwa, zdaniem władz w Seulu, byłby jego przerób co spowodowałoby radykalne zmniejszenie ilości odpadów.

W ostatnim okresie coraz większe zainteresowanie wzbudza technologia pirometalurgicznego przetwarzania paliwa (ang. pyroprocessing). Wykorzystuje ona szereg wysokotemperaturowych procesów elektrochemicznych do przerobu paliwa (tzw. suchy proces). Technologia ta była przedmiotem badań już w latach 60. XX w. w ramach prac nad produkcją paliwa do reaktorów powielających. Obecnie nastąpił powrót do tej koncepcji w związku z koniecznością optymalizacji sposobu zarządzania odpadami promieniotwórczymi.

Najbardziej zaawansowany projekt opracowała w 2002 r. firma Argonne West (Idaho, USA). Obecnie

w państwach rozwijających energię jądrową (USA, Japonia, Rosja, Indie, Chiny) trwają prace nad możliwością zastosowania tej technologii na skalę przemysłową. Także KE w 2008 r. uruchomiła program badań nad jej wykorzystaniem do recyklingu aktywnoców (ACSEPT). Korea Płd. w 2010 roku nawiązała współpracę ze Stanami Zjednoczonymi w zakresie wykorzystania pyroprocessingu do przerobu paliwa i rozpoczęła budowę, za zgodą MAEA, specjalistycznego laboratorium Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility (ACPF)<sup>6</sup> do badań nad tą technologią. Laboratorium ukończono w 2011 r. i w kolejnym etapie przewiduje się powstanie pilotażowego zakładu przerobu wypalonego paliwa Korea Advanced Pyroprocessing Facility (KAPF), w którym ma rozpocząć się próbny proces przerobu w 2016 r. z wykorzystaniem powyższej metody na skalę przemysłową.

W przyszłości planowana jest budowa ostatecznego składowiska wypalonego paliwa w głębokich formacjach geologicznych lecz w zależności od przyjętej polityki postępowania z takim paliwem będzie w nim składowane samo paliwo lub tylko wysokoaktywne odpady (high level radioactive waste – HLW) powstałe w procesie jego przerobu.

Odpady nisko- i średnioaktywne (low- and intermediate-level radioactive waste – LILW) przechowywane są tymczasowo na terenie każdej z elektrowni. Obecnie budowane jest centralne składowisko takich odpadów o docelowej powierzchni 200 ha i pojemności 800.000 pojemników (drums) zlokalizowane w rejonie m. Gyeongju w pobliżu elektrowni Wolsong (Wolsong LILW Disposal Center – WLDC). Od 2010 roku przyjmuje ono już pierwsze pojemniki zawierające zestalone odpady.

Korea Płd. dąży do opanowania

pełnego jądrowego cyklu paliwowego i budowy zakładów wzbogacania uranu oraz przerobu wypalonego paliwa (uzyskania zdolności w tzw. wrażliwych technologiach ENR). Podyktowane jest to następującymi powodami głośno artykułowanymi przez rząd w Seulu:

- Wzbogacanie – posiadanie własnych zdolności w zakresie wzbogacania niezależni Koreę od usług wzbogacania uranu za granicą i zagwarantuje ciągłość dostaw paliwa przy obniżonym jego koszcie dla planowanego znacznego wzrostu ilości reaktorów. Ponadto – co wydaje się bardziej istotne dla rządu w Seulu – pozwoli to oferować korzystniejsze warunki kontraktów przez przedsiębiorstwa koreańskie nie tylko na budowę reaktorów lecz także na kompleksowe dostawy paliwa – co jest praktyką powszechnie stosowaną przez firmy francuskie, amerykańskie i rosyjskie.

- Przerób wypalonego paliwa – posiadanie zakładu przerobu pozwoli radykalnie zmniejszyć ilość odpadów promieniotwórczych przeznaczonych do ostatecznego składowania oraz w bardziej efektywny sposób wykorzystywać importowany uran, przyczyniając się tym samym do redukcji kosztów paliwa.

Korea Płd. w 1974 r. zawarła z USA porozumienie o współpracy w dziedzinie energetyki jądrowej co było podstawą rozwoju jej programu jądrowego. W ramach tego porozumienia nie może ona bez zgody USA – jako dostawcy paliwa dla reaktorów koreańskich – przerabiać tego paliwa. Porozumienie to wygasło w 2014 r. i od roku 2010 dyplomacja koreańska prowadziła intensywne rozmowy ze Stanami Zjednoczonymi w celu zmiany niekorzystnych zapisów i uzyskania zgody Waszyngtonu na taki przerób w celu wykorzystania zawartego w paliwie plutonu i innych pierwiastków transuranowych

do zasilania reaktorów prędkich. Seul zaproponował prowadzenie wspólnych prac badawczych nad technologią pyroprocessingu, która zdaniem ekspertów koreańskich nie obarczona jest zagrożeniem proliferacyjnym (nie można uzyskać przy jej pomocy czystego plutonu, który mógłby teoretycznie być użyty do konstrukcji broni jądrowej).

Rząd amerykański stoi na stanowisku, że uzyskanie przez Koreę zdolności w zakresie ENR może wysłać zły sygnał do społeczności międzynarodowej i zdestabilizować reżim nieproliferacyjny, bowiem inne kraje trzecie również zażądają dostępu do tych technologii i podobnych zapisów w porozumieniach zawartych ze Stanami Zjednoczonymi (np. Jordania, Tajwan,

Wietnam). Stoi to w sprzeczności z amerykańską polityką ograniczania na świecie dostępu do technologii ENR. Administracja prezydenta Obamy podnosi również argument, iż wprowadzenie tych technologii do Republiki Korei skutecznie znieweczy dalsze wysiłki mające na celu skłonienie Korei Płn. do porzucenia jej programu broni jądrowej. Waszyngton obawia się także, że Seul mógłby w przyszłości wykorzystywać te technologie do rozwoju własnego programu broni jądrowej.

Obie strony nie zamierzały zrezygnować ze swoich postulatów<sup>3</sup> i początkowo uzgodniono jedynie wspólne stanowisko o przedłużeniu obowiązywania dotychczasowego porozumienia o dwa lata do 2016 r. aby dać sobie czas na dalsze rozmowy.

W czerwcu 2015 r. zawarto ostateczne porozumienie o dalszej współpracy w dziedzinie pokojowego wykorzystania energii jądrowej, na mocy którego Republika Korei uzyskała zgodę USA na możliwość wysyłania wypalonego paliwa do przerobu za granicą oraz kontynuację prac badawczych nad zastosowaniem technologii pyroprocessing do przerobu paliwa w ramach wspólnego programu the Joint Fuel Cycle Study. Porozumienie zezwala także Korei na wzbogacanie uranu do poziomu 20% po uprzedniej konsultacji ze Stanami Zjednoczonymi w ramach komisji dwustronnej i ich pisemnej zgody. [5], [6]

## Mapa 2.

Rozmieszczenie złóż uranu w ROK



3. Korea Płn. w oczywisty sposób nie dotrzymała warunków tego porozumienia bowiem w swoim ośrodku badań jądrowych w Yongbyong posiada zakłady zarówno wzbogacania uranu jak i przerobu wypalonego paliwa. Pluton pozyskany w wyniku procesu przerobu posłużył do budowy ładunków jądrowych i przeprowadzenia czterech testów nuklearnych w latach 2006, 2009, 2013 i 2016.  
3. ppm – jednomilionowa część (ang. parts

per million) – pseudojednostka służąca do zapisu bardzo małych zawartości (stężeń) substancji.  $1\text{ppm} = 1/1000000 = 0,0001\%$   
4. 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 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.  
5. Laboratorium to wchodzi w skład koreańskiego instytutu energii jądrowej KAERI i mieści się w dużym kompleksie ośrodków badawczych zlokalizowanym w m. Daejeon.

## 5.

# Organy dozorowe, bezpieczeństwo jądrowe, ochrona radiologiczna i kultura techniczna

Najwyższym organem decyzyjnym Korei Płd. w zakresie polityki nuklearnej jest Komisja ds. Energii Jądrowej - Atomic Energy Commission (AEC) kierowana osobiście przez premiera.

Ogólna odpowiedzialność za prace badawczo-rozwojowe, bezpieczeństwo jądrowe i system zabezpieczeń Układu NPT (safeguards) spoczywa na Ministerstwie Szkolnictwa, Nauki i Techniki - Ministry of Education, Science & Technology (MEST).

W 2011 roku zreorganizowano państwowy system bezpieczeństwa jądrowego i powołano nowy niezależny organ nadzoru nad programem jądrowym (z przewodniczącym w randze ministra), podległy prezydentowi - Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), który odpowiada za licencjonowanie, inspekcje, reagowanie na wypadek awarii, nieprolifercję i system zabezpieczeń Układu NPT, kontrolę eksportu oraz fizyczną ochronę obiektów jądrowych. Państwowy instytut Korean Institute of Nuclear Safety (KINS) został wyznaczony do realizacji zadań jako organizacja wsparcia technicznego (TSO) podczas gdy głównym zadaniem MEST jest promowanie energetyki jądrowej.

Ministerstwo Handlu, Przemysłu i Energii - Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) jest odpowiedzialne za politykę ener-

getyczną, budowę i eksploatację elektrowni jądrowych, dostawy paliwa jądrowego oraz gospodarkę odpadami promieniotwórczymi. Nadzoruje ona główne podmioty zaangażowane w energetykę jądrową takie jak: KEPCO, KHNP, KNFC i NETEC, przy czym KEPCO sprawuje kontrolę nad pozostałymi.

Informacją publiczną w zakresie energetyki jądrowej zajmuje się Korea Nuclear Energy Foundation (KNEF), która podlega MOTIE.

W następstwie awarii w Fukushima przeprowadzono natychmiastową ocenę wszystkich lokalizacji bloków jądrowych oraz MEST dokonał niezależnej kontroli każdej elektrowni. Podobnego przeglądu dokonała także MAEA. W ramach realizacji zaleceń pokontrolnych rozpoczęto realizację szeregu przedsięwzięć podnoszących bezpieczeństwo jądrowe:

- Podniesienie do 10 m bariery brzegowej w elektrowni Kori-1;
- Instalacja wodoszczelnych drzwi do pomieszczeń, gdzie znajdują się awaryjne generatory diesla;
- Zabezpieczenie zapasowych baterii elektrycznych przed możliwością zalania wodą;
- Rozmieszczenie w każdej elektrowni pojazdów z przenośnymi zestawami generatorów diesla;
- Zabezpieczenie pomp cyrkulacyjnych obwodu chłodzenia przed możliwością zalania wodą;
- Zainstalowanie pasywnych (bez

konieczności zasilania energią elektryczną) układów rekombinacji wodoru;

- Poprawienie systemów dekompresji i wentylacji w obudowach bezpieczeństwa;
- Poprawienie działania sejsmicznych automatycznych systemów wyłączenia awaryjnego.

Na inwestycje te przewiduje się wyasygnowanie środków finansowych w wysokości ok. 1 mld \$ w ciągu 5 lat.

Pozycję KEPCO na rynku międzynarodowym może osłabić przypadek braku odpowiedniej kultury technicznej oraz seria fałszerstw dokumentacji jakie miały miejsce w latach 2012/2013:

- W lutym 2012 r. podczas remontu reaktora Kori-1 w wyniku błędu robotnika nastąpiło całkowite przerwanie zasilania reaktora na 12 min., co doprowadziło do wzrostu temperatury rdzenia z 36,9°C do 58,3°C oraz wzrost temperatury wody w basenie wypalonego paliwa o 0,5°C. W wyniku tego incydentu w kwietniu 2012 r. podał się do dymisji dyrektor KHNP Jong-shin Kim.
- W 2012 r. koreańskim przemysłem jądrowym wstrząsnęła informacja o tym, że tysiące elementów użytych do budowy elektrowni jądrowych posiadało sfałszowane certyfikaty bezpieczeństwa. W wyniku przeprowadzonej kontroli nadzór jądrowy ustalił, że niektóre partie urządzeń miało sfałszowanych

60 certyfikatów jakości dotyczących 7682 komponentów dostarczanych w latach 2003-2012 przez 7 krajowych dostawców i 1 firmy z USA. Większość z nich została zainstalowana w 5 blokach jądrowych (Hanbit-3,4,5,6 oraz Hanul-3). Przeciwno kilkudziesięciu pracownikom KHNP wniesiono oskarżenia do sądu za branie łapówek od dostawców części i urzędzeń, które nie spełniały odpowiednich norm technicznych. Reaktory te na okres wymiany wadliwych części zostały

wyłączone.

- W maju 2013 r. ujawniono, że w czterech obiektach sfałszowano wyniki testów przewodów w instalacjach odpowiedzialnych za kontrolę bezpieczeństwa reaktorów. Przewody te nie przeszły od 9 do 12 testów związanych z ich zachowaniem w przypadku zakłócenia chłodzenia reaktora. W związku z tym do czasu wymiany wadliwych przewodów wyłączono dwa bloki energetyczne Shin Kori-2 i Shin Wolsong-1 oraz polecono wstrzy-

mać oddanie do ruchu Shin Kori-1, który był wyłączony na okres remontu oraz opóźnić oddanie do eksploatacji Shin Wolsong-2<sup>6</sup>. Ponowne ich uruchomienie było możliwe po wymianie wadliwych części i po uzyskaniu zgody NSSC (co nastąpiło dopiero w styczniu 2014 r.). Z powodu konieczności wymiany wadliwych przewodów opóźniło się także uruchomienie bloków Shin Kori-3 i 4 (do roku 2015).

6. W Seulu pojawiały się również głosy, że dotychczasowe porozumienie z USA jest niekorzystne dla Korei i ogranicza jej suwerenność oraz że zastępuje ona na podobne traktowanie jak Japonia, która od 1988 r. posiada taką zgodę i buduje własne zdolności do przerobu wypalonego paliwa.

7. Doniesienia te zwiększyły obawy południowokoreańskiej opinii publicznej dotyczące bezpieczeństwa elektrowni jądrowych. Wyłą-

czenia tak dużej ilości bloków spowodowały niedobory energii elektrycznej i konieczność jej ograniczania w sezonie letnim i jesienią w 2013 r., kiedy to zapotrzebowanie na nią jest największe. Rząd zarządził kampanię oszczędzania energii i wyłączania klimatyzacji w środku gorącego lata (nawet prezydent Park Geun-hye miała wyłączonej klimatyzację podczas spotkań z cudzoziemcami).

8. Reaktor HANARO został zaprojektowany

wspólnie przez KAERI i Atomic Energy of Canada Limited (AECL) w oparciu o projekt kanadyjskiego reaktora MAPLE. Jest to reaktor basenowy chłodzony lekką wodą stosujący ciężką wodę jako moderator. Uruchomiony został w 1995 r.

9. GNEP w czerwcu 2010 roku zostało przekształcone w międzynarodową inicjatywę International Framework for Nuclear Energy Cooperation (IFNEC).

## 6. Badania i rozwój technologii jądrowych

Głównym zadaniem stojącym przed jednostkami badawczo-rozwojowymi jest zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii oraz budowanie bazy technologicznej, która ma umożliwić Korei w przyszłości eksport technologii jądrowych. Głównym ośrodkiem realizującym te zadania jest Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) zlokalizowany w m. Daejeon. Podlega on Korea Research Council of Public Science & Technology (KORP). Wykorzystując reaktor HANARO<sup>3</sup> (High-Flux Advanced Neutron Application Reactor) o mocy 30 MWt realizuje on szereg programów badawczych obejmujących m.in. projektowanie reaktorów i paliwa jądrowego, bezpieczeństwo jądrowe, gospodarkę odpadami promieniotwórczymi oraz zastosowanie radioizotopów w przemyśle i medycynie. Do najważniejszych prac badawczych prowadzonych obecnie w KAERI zaliczyć można:

- Program DUPIC (Direct Use of spent PWR fuel in CANDU) – zastosowanie wypalonego paliwa z reaktorów PWR do zasilania reaktorów PHWR. Realizowany jest on w ramach projektu INPRO koordynowanego przez MAEA i wspierany przez Kanadę (projektanta reaktorów PHWR typu Candu).
- Zaawansowany proces przerobu wypalonego paliwa (Advanced

Conditioning Process – ACP) – przerób wypalonego paliwa w celu zwiększenia efektywności wykorzystania materiałów rozszczepialnych oraz zmniejszenia ilości i aktywności odpadów promieniotwórczych. Realizowany w ramach międzynarodowego projektu Global Nuclear Energy Partnership (GNEP<sup>4</sup>) wspólnie z USA (jako producenta paliwa do reaktorów PWR). W ramach tego zadania powstało w KAERI wspomniane powyżej oddzielne laboratorium (ACPF) zajmujące się badaniami nad zastosowaniem metody pyroprocessingu do przerobu paliwa.

- Budowa reaktorów prędkich chłodzonych sodem (SFR) – wykorzystanie przerobionego paliwa (metodą pyroprocessingu) do celów energetycznych i spalanie aktywnoców. Realizowany w ramach projektu GNEP/IFNEC Korean prototype Gen.1V sodium-cooled fast reactor (PGSFR) przy wsparciu USA (ANL, EPRI) oraz współpracy z rosyjskim instytutem IAR. Reaktor demonstracyjny o mocy 150 MWe planowany jest na 2028 rok. Trwają także prace nad większym reaktorem prędkim chłodzonym sodem KALIMER (Korea Advanced Liquid Metal Reactor) o mocy 600 MWt.
- Budowa reaktora wysokotemperaturowego (VHTR) – produkcja wodoru. Reaktor demonstracyjny

o mocy 300 MWt planowany jest na rok 2020. Ma mieć wydajność 30.000 ton wodoru na rok. Realizowany przy współpracy z Chinami, Japonią i USA.

- Budowa reaktora energetycznego modułowego małej mocy (SMR) – produkcja energii elektrycznej, odsalanie wody. Reaktor demonstracyjny SMART (System-integrated Modular Advanced Reactor) o mocy 90 MWe i wydajności 40000 m<sup>3</sup> wody/dzień ma zostać uruchomiony w 2017 roku.
  - Program K-STAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research) – zastosowanie fuzji jądrowej do produkcji energii elektrycznej. Urządzenia badawcze typu Tokamak (KT-1 i KT-2) uruchomiono w 2007 roku w ramach międzynarodowego programu ITER koordynowanego przez MAEA. Kolejnym etapem tego projektu ma być demonstracyjna wersja reaktora energetycznego K-DEMO opracowywana wspólnie z koreańskim National Fusion Research Institute (NFRI) oraz Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) z New Jersey, USA.
  - Projekt KURT (KAERI Underground Research Tunnel) – badania w zakresie długotrwałego składowania HLW w formacjach geologicznych.
- Innym ośrodkiem zajmującym się rozwojem technologii reaktorów prędkich jest Nuclear Transmuta-



### Fotografia 1.

Koreański tokamak K-Star służący do badania zastosowań fuzji jądrowej do produkcji energii elektrycznej (Fot. Michel Maccagnan)



tion Energy Research Centre of Korea (NuTrECK) przy uniwersytecie w Seulu. Bazuje on na doświadczeniach rosyjskich i opracowuje projekt koncepcyjny reaktora PEACER (Proliferation-resistant, Environment-friendly, Accident-tolerant, Continuable, and Economical Reactor) chłodzonego eutektyką ołowiano-bizmutową.

Zasilany ma on być paliwem pochodzącym z przerobu wypalonego paliwa z reaktorów PWR za pomocą metody pyroprocesingu. Zasadniczym celem tego projektu jest budowa reaktora służącego do zmniejszenia aktywności odpadów promieniotwórczych poprzez transmutację<sup>5</sup> wysokoaktywnych produktów rozszczepienia do

izotopów stałych. Ponadto w Korei Płd. eksploatowany jest reaktor AGN-201 o mocy 0,01 kWt na uniwersytecie Kyung Hee w Suwon, który służy do szkolenia kadr na potrzeby energetyki jądrowej.

10. Transmutacją nazywamy reakcję jądrową zachodzącą w strumieniu wysokoenergetycznych neutronów, w której w wyniku pochłonięcia neutronu nuklid promieniotwórczy

czy przekształca się (transmutuje) w nuklid stabilny (np. transmutacja promieniotwórczego  $^{99}\text{Tc}$  w stabilny  $^{102}\text{Ru}$ ). Procesy te powodują zasadnicze zmniejszenie ilości

wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych i skrócenie niezbędnego okresu ich składowania.

## 7. Zagadnienia nieproliferycyjne

Republika Korei rozpoczęła program broni jądrowej w roku 1970 w odpowiedzi na doktrynę Nixona o konieczności własnej obrony sojuszników azjatyckich. W ślad za wycofaniem 26.000 wojsk amerykańskich rząd Korei Płd. utworzył Weapons Exploitation Committee (WEC), który podjął decyzję o rozpoczęciu militarnego programu jądrowego. Pod naciskiem Stanów Zjednoczonych, które w międzyczasie wymusiły na Francji odmowę dostarczenia Korei technologii wzbogacania uranu, rząd w Seulu w kwietniu 1975 roku ratyfikował Układ o Niezrozszerzeniu Broni Jądrowej (NPT) i oficjalnie porzucił swój program militarny. Niemniej jednak niepotwierdzone doniesienia strony opozycyjnej wskazywały, iż prezydent Park Chung-hee kontynuował tajny program wojskowy i opracowywane były plany budowy broni jądrowej w celu odstraszania ewentualnej agresji z północy. Program ten został przerwany po jego śmierci w zamachu w październiku 1979 r. Korea Płd. jest zobowiązana Wspólną Deklaracją z 1992 roku do nieposiadania na swoim terytorium broni jądrowej, ani obiektów do wzbogacania uranu i przerobu wypalonego paliwa. Mimo, że Korea Płn. jawnie pogwałciła i nie stosuje się do tej deklaracji, to Korea Płd. nigdy oficjalnie nie odrzuciła zobowiązań zawartych w tym dokumencie.

Pewne zaniepokojenie społeczności międzynarodowej wzbudził w roku 2004 fakt, iż po podpisaniu

Protokołu Dodatkowego do Systemu Zabezpieczeń NPT (safeguards) rząd w Seulu ujawnił inspektorom MAEA, że w poprzednich latach w kraju tym miały miejsce dwa przypadki naruszenia zasad nieproliferycji:

- W 1981 r. inżynierowie koreańscy wyprodukowali 5 testowych prętów paliwowych wykonanych ze zubożonego uranu. Do tego celu wykorzystano 2,5 kg uranu sprowadzonego w 1978 r. z NRF. Zostały one następnie napromieniowane w reaktorze badawczym KRR-2 (KA-ERI) w Seulu i w 1982 r. pozyskano z nich 0,7 g plutonu zawierającego 98% izotopu <sup>239</sup>Pu.

- W latach 1990-2000 prowadzone były badania nad zastosowaniem laserów do wzbogacania uranu metodą AVLIS. Przeprowadzono kilkanaście eksperymentów wykorzystując do tego celu 3,5 kg metalicznego uranu i uzyskano 200 mg tego materiału o średnim wzbogaceniu 10% <sup>235</sup>U (niektóre próbki osiągnęły 77% wzbogacenia). Władze w Seulu ujawniły także, że w latach 1979-1981 prowadzone były eksperymenty ze wzbogacaniem uranu za pomocą chemicznej wymiany jonowej wykorzystując do tego 700 g proszku uranowego – jednak nie uzyskano znaczących wartości wzbogacenia.

Zgodnie z układem NPT Korea miała prawo prowadzić takie badania, jednak naruszeniem jego postanowień było zatajenie (niezgłoszenie

do MAEA) faktu ich prowadzenia co uniemożliwiło Agencji sprawdzenie, czy uzyskany materiał nie został wykorzystany do budowy broni jądrowej. Rząd w Seulu aktywnie współpracował z MAEA przy wyjaśnianiu wszystkich aspektów tej przeszłej działalności i w 2008 roku Rada Gubernatorów MAEA uznała, iż cały materiał jądrowy zgromadzony na terytorium Korei Płd. znajduje się pod właściwym nadzorem Agencji i jest wykorzystywany wyłącznie do celów pokojowych.

Rząd w Seulu przykłada wysokie znaczenie do zagadnień nieproliferycyjnych. Może o tym świadczyć fakt, iż Korea Płd. była w 2012 roku gospodarzem szczytu bezpieczeństwa jądrowego poświęconego głównie walce z terroryzmem jądrowym i ograniczeniu wykorzystywania uranu wysokowzbogaconego (HEU) w badaniach naukowych i do zastosowań cywilnych.

W obliczu zagrożenia ze strony programu broni jądrowej prowadzonego przez Koreę Płn. pojawiają się ostatnio opinie wśród polityków koreańskich (Chung Mong-joon) o konieczności rozwoju własnego programu broni jądrowej w celu odstraszania ewentualnej agresji z północy. Sondaż przeprowadzony w 2013 r. wykazał narastającą frustrację wśród społeczeństwa wobec gróźb ze strony sąsiada co przekłada się na 2/3 poparcia dla idei posiadania broni jądrowej<sup>6</sup>. [10], [11]

*Chinom i Francji. Republika Korei musiałaby wystąpić z tego układu – co w 2003 roku zrobiła Korea Płn.*

11. *Obowiązujący obecnie Układ NPT zezwala na posiadanie takiej broni jedynie państwom nuklearnym: USA, Rosji, Wlk. Brytanii,*

## 8.

# Wykaz organizacji i podmiotów zaangażowanych w program jądrowy Republiki Korei

ACPF	Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility
AEC	Atomic Energy Commission
KAERI	Korea Atomic Energy Research Institute
KAPF	Korea Advanced Pyroprocessing Facility
KEPCO	Korea Electric Power Corporation
KHNP	Korea Hydro & Nuclear Power Co Ltd
KIER	Korean Institute of Energy and Resources
KINS	Korean Institute of Nuclear Safety
KNFC	KEPCO Nuclear Fuel Company
KNEF	Korea Nuclear Energy Foundation
KOPEC	Korea Power Engineering Company
KORAD	Korea Radioactive Waste Agency
KORES	Korean Resources Corporation
KORP	Korea Research Council of Public Science & Technology
KRMC	Korea Radioactive Waste Management Corporation
MEST	Ministry of Education, Science & Technology
MOTIE	Ministry of Trade, Industry and Energy
NETEC	Nuclear Environment Technology Institute
NFRI	National Fusion Research Institute
NSSC	Nuclear Safety and Security Commission
NuTrECK	Nuclear Transmutation Energy Research Centre of Korea
WEC	Weapons Exploitation Committee
WLDC	Wolsong LILW Disposal Center



# Program Jądrowy w Chinach<sup>1</sup>

Chiny posiadają najszybciej rozwijający się przemysł jądrowy na świecie. Eksploatują 33 reaktory energetyczne o sumarycznej mocy 28,97 GWe, które produkują 3% energii elektrycznej, a w budowie znajdują się kolejne 22 bloki. Władze w Pekinie do 2020-21 r. zamierzają trzykrotnie zwiększyć moc zainstalowaną w elektrowniach jądrowych do 58 GWe i następnie uruchomić 150 GWe do 2030 r. W dalszej perspektywie zamierzają stać się światowym dostawcą technologii jądrowych.

Nowe reaktory jądrowe budowane są nie tylko w celu pokrycia rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną ale także z konieczności zmniejszenia stopnia zanieczyszczenia powietrza wywołanego spalaniem węgla.<sup>1</sup>

Chiny przyjęły politykę zamkniętego cyklu paliwowego i konsekwentnie wykorzystują zachodnie technologie do uzyskania samowystarczalności w konstrukcji reaktorów i w innych aspektach cyklu paliwowego.

W zakresie prac badawczo-rozwojowych szczególne osiągnięcia uzyskiwane są w dziedzinie konstrukcji reaktorów wysokotemperaturowych chłodzonych gazem oraz reaktorów chłodzonych stopionymi solami. W technologiach tych Chiny wyprzedzają znacznie ośrodki naukowe z innych państw i należy spodziewać się wkrótce pierwszych obiektów komercyjnych, które mogą otworzyć firmom chińskim światowe rynki zbytu.

1. Zawartość pyłów zawieszonych 2,5  $\mu\text{m}$  w powietrzu w Pekinie 12 stycznia 2013 r. osiągnęła rekordowy poziom 993  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  przy normie WHO wynoszącej 25.

# 1.

## Bilans energetyczny

Większość energii elektrycznej jest produkowana w Chinach z paliw kopalnych, głównie węgla kamiennego. Uzupełnieniem bilansu energii są duże hydroelektrownie: Zapora Trzech Przełomów (Three Gorges Dam) o mocy 18,2 GWe, Xiluodu (13,8 GWe) oraz kaskada Żółtej Rzeki (15,8 GWe). W 2013 r. całkowita produkcja energii elektrycznej wyniosła 5433 TWh, z czego 4091 TWh z elektrowni węglowych (75%), 99 TWh z elektrowni gazowych (1,8%), 112 TWh z elektrowni jądrowych (2%), 920 TWh z hydroelektrowni (16,9%) i 205 TWh z innych źródeł odnawialnych (3,8%). Gospodarka Chin w niewielkim stopniu zależna jest od energii jądrowej. W roku 2015 udział energii jądrowej w produkcji prądu elektrycznego wyniósł zaledwie 3% (161,2 TWh).

Zdolności Chin do produkcji energii elektrycznej na koniec 2015 roku wynosiły 1508 GWe i planowany jest ich wzrost do 1600 GWe w 2020 r. oraz 2000 GWe w roku 2025. Obecnie Chiny eksploatują 33 reaktory jądrowe o sumarycznej mocy 28,97 GWe i w ciągu ostatnich pięciu lat potrojiły swoje zdolności wytwórcze w tych obiektach (w roku 2010 wynosiły 10,8 GWe). W budowie znajdują się 22 reaktory o przewidywanej mocy 24,69 GWe, a kolejnych 42 jest planowanych (48,33 GWe). Strategiczny plan rozwoju energetyki opublikowany

w listopadzie 2014 r. zakłada do roku 2020-21 posiadanie 58 GWe mocy zainstalowanych w elektrowniach jądrowych.

Głównymi operatorami tych elektrowni są: China National Nuclear Corporation (CNNC) oraz China General Nuclear Power Group (CGN).

Gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, związany z rozwojem gospodarczym państwa, w ostatnich latach powodował przerwy w jej dostawach. Prawie całkowita zależność od paliw kopalnych doprowadziła do znacznego skażenia atmosfery<sup>1</sup>. Straty ekonomiczne z tego tytułu oceniane są przez Bank Światowy na 6% PKB i nowe przywództwo państwa w roku 2013 przyjęło walkę z zanieczyszczeniem powietrza jako cel priorytetowy. Do 2020 r. redukcja emisji CO<sub>2</sub> ma wynieść 40-45% poziomu z 2005 r., a udział źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej wzrosnąć do 15%. W marcu 2014 r. rząd w Pekinie zadeklarował „wojnę ze skażeniem środowiska” i przyspieszenie wyłączenia elektrowni węglowych.

Polityka walki ze skażeniem powietrza doprowadziła do zamykania elektrowni węglowych (głównie małych i nieefektywnych). W 2009 r. wyłączono 26 GWe, w 2010 r. – 11 GWe, w sumie od 2006 roku zredukowano zdolności produkcyjne w takich elektrowniach o 71

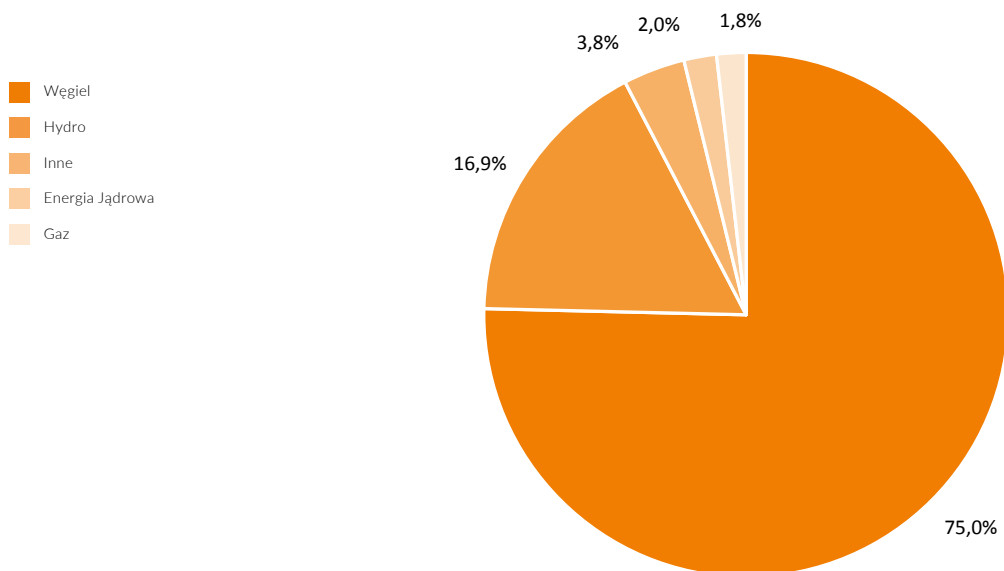
GWe zmniejszając tym samym roczne zużycie węgla o 82 mln ton i emisję CO<sub>2</sub> o 165 mln ton. Chiny wprowadzają nowoczesne technologie spalania węgla w swoich elektrowniach, niemniej jednak w 2013 roku spaliły ok. 4,3 mld ton węgla, co stanowiło ponad połowę światowego zużycia tego surowca energetycznego.

Obok budowy nowych elektrowni jądrowych rozwijane są także odnawialne źródła energii. W 2012 r. uruchomiono 15 GWe w elektrowniach wiatrowych i 3 GWe w słonecznych, a w roku 2013 odpowiednio 21 GWe w hydroelektrowniach, 18 GWe w wiatrowych i 10 GWe w słonecznych. Plany zakładają dalszy wzrost udziału tych źródeł - do 2017 r. 70 GWe w elektrowniach słonecznych i 100 GWe w wiatrowych.

Sieć przesyłowa zarządzana jest przez przedsiębiorstwa State Grid Corporation of China (SGCC) oraz China Southern Power Grid Co (CSG). Rozwija się ona szybko i wykorzystuje linie przesyłowe ultra wysokiego napięcia (1000 kV AC i 800 kV DC). Do 2015 r. długość sieci ma osiągnąć 40000 km, ponadto przewiduje się zmniejszenie strat przesyłowych z obecnych 6,6% do 5,7% w roku 2020.

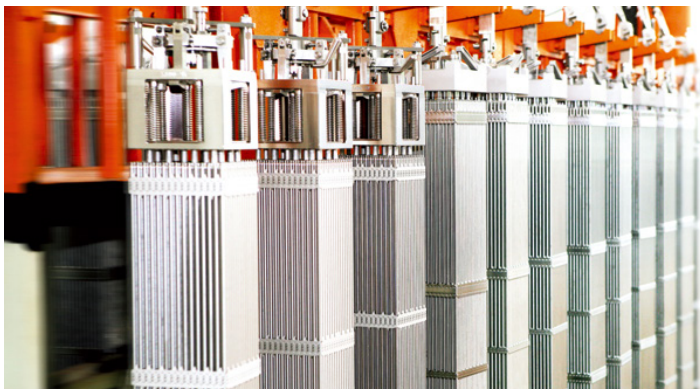
### Wykres 1.

Bilans energetyczny Chin w 2013 r.



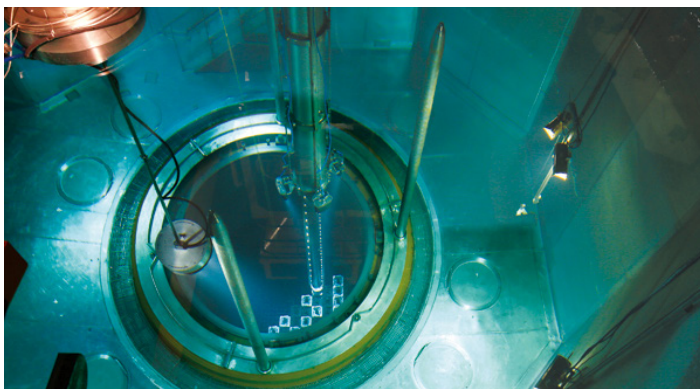
### Fotografia 1.

Pręty paliwowe CNNC



### Fotografia 2.

Zanurzone elementy paliwowe



## 2. Energetyka jądrowa

Jednym z głównych powodów rozwoju energetyki jądrowej w Chinach, obok potrzeby sprostania rosnącemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną, jest konieczność ograniczenia skażenia powietrza wywołanego przez spalanie węgla kamiennego w elektrowniach konwencjonalnych. Innym czynnikiem jest potrzeba poprawy bezpieczeństwa stałych i racjonalnych cen energii elektrycznej niezbędnej do dynamicznego rozwoju gospodarki.

W obliczu gwałtownego rozwoju przemysłu i trwającej urbanizacji kraju zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie stale i szybko rosnąć. Opłacalność ekonomiczna energetyki jądrowej, stała produkcja prądu w podstawie systemu energetycznego oraz ulokowanie elektrowni w pobliżu jej głównych odbiorców wzdłuż wschodniego wybrzeża, w połączeniu z brakiem emisji zanieczyszczeń stanowi o atrakcyjności tej formy produkcji energii elektrycznej, jako alternatywy dla spalania węgla.

Energetyka jądrowa pełni w Chinach ważną rolę szczególnie w rejonach nadmorskich, gdzie następuje szybki rozwój gospodarczy i występuje znaczny popyt na energię elektryczną, a są one odległe od złóż węgla kamiennego. Z tego względu większość elektrowni jądrowych w Chinach rozmieszczona jest wzdłuż wybrzeża.

Przy okazji taka lokalizacja podnosi sprawność elektrowni w stosunku do elektrowni chłodzonych wodą śródlądową, bowiem do chłodzenia wykorzystuje się wodę morską o znacznie niższej temperaturze.

Program energetyki jądrowej zapoczątkowany został w Chinach w latach 70. XX w. i w roku 1970 powstał ośrodek badawczy 728 Institute (obecnie Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute, SNERDI), który stał się liderem działań zmierzających do pokojowego wykorzystania energii jądrowej dla potrzeb energetyki. W dniu 15 grudnia 1991 roku podłączono do sieci pierwszy reaktor jądrowy rodzimej konstrukcji typu PWR (CNP-300) o mocy 288 MWe w EJ Qinshan.

Ok. roku 2005 nastąpiło gwałtowne przyspieszenie rozwoju gospodarczego Chin, co pociągnęło za sobą także rozwój energetyki jądrowej. Intensyfikując ten rozwój Chin wykorzystywały technologie jądrowe opracowane we Francji, Kanadzie i Rosji. Najnowsze technologie pozyskano ze Stanów Zjednoczonych (poprzez firmę Westinghouse, będącą własnością japońskiego koncernu Toshiba) oraz z Francji. Państwowa firma State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC) przyjęła model reaktora AP1000 firmy Westinghouse za podstawę dalszego rozwoju energetyki jądrowej w Chinach w najbliższej przyszłości. Posłużył

on do opracowania reaktora rodzimej konstrukcji CAP-1400.

Strategiczne plany rozwoju energetyki jądrowej zakładają, że ok. 2040 roku moc zainstalowana w reaktorach PWR ustabilizuje się na poziomie 200 GWe i jednocześnie od roku 2020 nastąpi rozwój reaktorów prędkich do 200 GWe w 2050 r. i 1400 GWe do roku 2100.

Dalszy rozwój energetyki skierowany jest na eksport technologii jądrowych, opartych na własnych opracowaniach konstrukcyjnych i wspieranych przez rodzime zdolności w pełnym zakresie jądrowego cyklu paliwowego.

### 2.1. Technologie reaktorów energetycznych

W procesie rozwoju energetyki jądrowej Chin przyjęty i realizują następujące założenia:

- głównym, chociaż nie jedynym typem reaktora ma być reaktor lekkowodny ciśnieniowy PWR;
- paliwo dla reaktorów będzie produkowane samodzielnie na terenie kraju;
- krajowa produkcja urządzeń i wyposażenia elektrowni oraz ich budowa ma być zmaksymalizowana;
- rozwijana ma być również współpraca międzynarodowa.

Baza technologiczna dla przyszłych reaktorów energetycznych nie została oficjalnie zdefiniowana, jednak dwa projekty obecnie domi-



nują w planach przyszłych konstrukcji: są to reaktory CPR-1000 i AP1000. Oprócz tego wysokim priorytetem objęte są reaktory wysokotemperaturowe chłodzone gazem (HTGR) i reaktory prędkie.

W dziedzinie techniki reaktorowej daje się zauważyć różne podejście i silną rywalizację pomiędzy China National Nuclear Corporation (CNNC), która forsuje rodzime technologie i konstrukcje oraz State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC) promującą import technologii z zagranicy.

SNPTC zaproponował zastosowanie do budowy EJ Sanmen i Haiyang zaawansowanych reaktorów III generacji o mocy ponad 1000 MWe wykorzystujących model AP1000 firmy Westinghouse. Firma ta dała zgodę na transfer technologii do SNPTC dla pierwszych czterech bloków, tak aby SNPTC mogła budować kolejne obiekty już samodzielnie.

## **EPR**

Francuska firma Areva buduje obecnie w Chinach dwa reaktory EPR, każdy o mocy 1660 MWe, w EJ Taishan. W przyszłości planowana jest budowa kolejnych dwóch bloków tego typu. W październiku 2008 roku Areva i CGN utworzyły wspólne przedsięwzięcie jako narzędzie do transferu technologii w celu dalszego rozwoju reaktorów EPR, a także innych technologii dużych reaktorów PWR w Chinach i w dalszej perspektywie poza ich granicami. W styczniu 2015 r. blok nr 1 EJ Taishan z sukcesem zakończył zimne testy (bez wprowadzania paliwa) urządzeń obiegu pierwotnego i wtórnego. Jego rozruch planowany jest przed końcem 2016 roku. Będzie tym samym pierwszym reaktorem typu EPR uruchomionym na świecie.

## **AP1000, CAP1000**

Reaktor AP1000 jest traktowany przez Chiny jako baza dla rozwoju

ich rodzimej technologii reaktorów III Gen. Posiada moc 1250 MWe i dwupętłowy układ odbioru ciepła z rdzenia. Otoczony podwójną obudową bezpieczeństwa oraz wyposażony w pasywne systemy bezpieczeństwa jest pierwszym reaktorem generacji III+, który został zatwierdzony przez US NRC. W 2009 roku Chiny rozpoczęły budowę czterech bloków AP1000 w EJ Sanmen 1-2 i Haiyang 1-2. Planowana jest budowa sześciu kolejnych bloków w trzech lokalizacjach: Sanmen, Haiyang i Lufeng oraz przynajmniej 30 proponowanych jest w późniejszym okresie. Chińska wersja tego reaktora oznaczana jest jako CAP1000. Reaktory budowane są z modułów produkowanych w pobliżu elektrowni. Cykl budowy od wylania płyty fundamentowej do załadunku paliwa wynosi 50 miesięcy, podłączenie do sieci ma nastąpić po 6 miesiącach.

W czerwcu 2014 r. ukończono prace konstrukcyjne przy budowie zbiornika ciśnieniowego dla bloku Sanmen 2. Jest to pierwszy zbiornik reaktora AP-1000 zbudowany samodzielnie przez Chiny. Ukończony zbiornik wyprodukowany przez China First Heavy Industries (CFHI) z powodzeniem przeszedł 8 czerwca 2014 r. test ciśnieniowy pod nadzorem ekspertów z Westinghouse. Przeznaczony jest dla drugiego bloku AP-1000 budowanego w EJ Sanmen. Kolejne dwa reaktory AP-1000 znajdują się w budowie w EJ Haiyang. Pierwsza lokalnie budowana wytwornica pary dla bloku Sanmen 2 przeszła testy 21 maja 2014 r.

Zbiorniki dla pierwszych bloków w EJ Sanmen i Haiyang zostały wyprodukowane przez koreańską firmę Doosan Heavy Industries & Construction przy wykorzystaniu niektórych elementów wykonanych przez CFHI pod nadzorem China's National Nuclear Safety Administration (CNNSA). Zbiornik dla blo-

ku Haiyang 2 dostarczy Shanghai Electric Group.

Chiński koncern State Nuclear Power Technology Corp (SNPTC) oraz firma Westinghouse utworzyły wspólne przedsięwzięcie w celu rozwoju lokalnej sieci dostaw części dla reaktorów AP-1000 budowanych w tym kraju. SNPTC odgrywa główną rolę przy transferze technologii oraz osiągnięciu i zachowaniu standardów jakości i bezpieczeństwa. W dalszej perspektywie Chiny chcą stopniowo stać się samowystarczalne w zakresie budowy reaktorów AP1000 i ich pochodnych.

## **CAP1400**

Od 2008 roku Westinghouse współpracuje z SNPTC i ośrodkiem badawczym SNERDI nad wspólnym projektem rozwoju pasywnego reaktora o mocy 1400-1500 MWe na bazie AP1000/CAP1000. Jest on realizowany w ramach programu budowy zaawansowanej, pasywnej elektrowni PWR dużej mocy Large Advanced Passive PWR Nuclear Power Plant (LPP lub APWR), który jest jednym z 16 kluczowych narodowych projektów w Chinach. Projekt ten może otworzyć Chinom we współpracy z Westinghouse możliwości eksportu dużych obiektów energetycznych za granicę, szczególnie do Ameryki Płd. i Azji.

Do realizacji projektu powołano wspólne przedsięwzięcie SNPTC i China Huaneng Group (CHG), które ma zbudować demonstracyjny model reaktora w m. Shidaowan. Projekt reaktora o mocy 1400 MWe ukończono w 2012 roku i zamówiono już główne komponenty do jego konstrukcji. Rdzeń reaktora ma składać się ze 193 zestawów paliwowych, ma on mieć możliwość stosowania paliwa MOX, stopień wypalenia 50GWd/tU i odporność sejsmiczną 300 Gal. W kwietniu 2015 r. rozpoczęto budowę hali turbin, a w marcu 2016 r. ma roz-

począć się wylewanie pierwszego betonu pod płytę fundamentową reaktora. Westinghouse jest gotowa dostarczać wsparcia technicznego przy realizacji tego projektu, ponad 80% komponentów elektrowni będzie rodzimego pochodzenia.

Reaktor CAP1400 może zostać następnie rozwinięty do większej, trzypętłowej konstrukcji CAP1700, co wymagać będzie przeskalowania pasywnego układu chłodzenia.

### **CNP-1000, CNP-600, CNP-300 (ACP1000, ACP600, ACP300)**

CNNC od początku lat 90. XX w. współpracuje z firmami Westinghouse i Areva nad opracowaniem chińskiej standardowej konstrukcji reaktora PWR z trzema pętlami chłodzenia CNP-1000. Powstał on na bazie doświadczeń z eksploatacji dwupętłowego bloku rodzimej konstrukcji CNP-300 w EJ Qinshan (powiększonego następnie do CNP-600). Cechuje go wyższy stopień wypalenia paliwa 60 GWd/tU i 18 miesięczny okres pomiędzy przeładunkiem paliwa.

CNNC dąży do opracowania całej rodziny zaawansowanych reaktorów III Gen. własnej konstrukcji ACP o różnej mocy: 300, 600 i 1000 MWe, z podwójną obudową bezpieczeństwa, 18-24 miesięcznym okresie pomiędzy przeładunkiem paliwa, z cyfrowymi systemami sterowania i kontroli oraz o 60 letnim okresie planowanej eksploatacji. Dwa nowe reaktory CNP-300 budowane są obecnie w Pakistanie w EJ Chasma, a reaktor ACP1000 planowany jest dla EJ Kannur w Karachi.

### **CAP100 (ACP100)**

Jednym z kluczowych projektów realizowanych przez CNNC jest wielozadaniowy, modułowy reaktor PWR małej mocy (SMR) CAP100 o mocy 100 MWe. Jego projekt uzyskał właśnie akceptację National Development and Reform Commi-

sion (NDRC). Konstrukcja reaktora oparta jest na większych reaktorach serii ACP, posiada on pasywne układy bezpieczeństwa i ma być instalowany pod ziemią. Odporność sejsmiczna wynosi 300 Gal., planowany okres eksploatacji 60 lat. W wersji do odsalania może produkować 12.000m<sup>3</sup>/dzień słodkiej wody. Przewidziany jest on także do dostarczania ciepła procesowego dla przemysłu oraz do celów ogrzewczych, a także jako pływająca elektrownia jądrowa. Model demonstracyjny ma być zlokalizowany w m. Zhangzhou w powiecie Putian. Budowa trwająca 36-40 miesięcy ma się rozpocząć w roku 2016. Dotychczas podpisano szereg dalszych porozumień z władzami lokalnymi dotyczących budowy tych reaktorów w prowincjach Jiangxi, Hunan, Jilin, Zhejiang i Heilongjiang. Dwa reaktory tego typu mają zostać uruchomione także w Iranie.

### **CAP150 (ACP150)**

Jest to mały reaktor modułowy opracowywany przez SNERDI równoległe z dużymi blokami CAP1000 i CAP1400 wykorzystując sprawdzone rozwiązania konstrukcyjne dotyczące konstrukcji rdzenia i budowy paliwa zastosowane w tych reaktorach. Cechuje go większa prostota systemów i większe bezpieczeństwo w porównaniu z reaktorami III Gen., 3 letni okres pomiędzy przeładunkiem paliwa i 80 letni okres eksploatacji. W przypadku awarii aktywne i pasywne układy chłodzenia gwarantują zachowanie bezpieczeństwa do 7 dni bez konieczności interwencji operatora. Odporność sejsmiczna reaktora wynosi 300 Gal.

### **CAP-FNPP**

Jest to kolejny projekt opracowany przez SNERDI reaktora przeznaczonego dla pływających elektrowni jądrowych (FNPP). Ma on mieć moc zaledwie 200 MWt/40 MWe i dwa

generatory pary. Okres pomiędzy przeładunkiem paliwa wynosi 5 lat.

### **CPR-1000, M310+, ACPR1000**

Reaktor CPR-1000 jest zmodyfikowaną wersją francuskiego reaktora M310 o mocy 900 MWe z trzypętłowym układem chłodzenia, który został importowany w latach 80. XX w. dla EJ Daya Bay i Ling Ao. Projektowany okres eksploatacji wynosi 60 lat. Reaktor został szybko i szeroko wprowadzony przez China General Nuclear Power Group (CGN) na rynek krajowy i na jego potrzeby stworzono własną bazę produkcyjną. Ponieważ Areva zachowała większość praw intelektualnych, to możliwości eksportowe tego typu reaktora są ograniczone (wymagają za każdym razem zgody Arevy).

Dużego znaczenia nabrała ewolucja tego reaktora do projektu Advanced CPR – ACPR1000, do którego Chiny mają już wszystkie prawa intelektualne. Posiada on podwójną obudowę bezpieczeństwa, trzypętłowy układ odbioru ciepła i chwytacz stopionego rdzenia, co zapewnia wysoki stopień bezpieczeństwa jego eksploatacji. W roku 2012 CGN podpisała z Arevą i EDF porozumienie o współpracy przy opracowaniu na bazie CPR1000 reaktora III Gen, ACE1000 (Areva-CGN-EdF1000).

### **Małe reaktory modułowe ACPR**

Aby nie pozostać w tyle CGN w ramach rywalizacji z CNNC również prowadzi prace nad małymi reaktorami modułowymi ACPR100 i ACPR50. Zastosowanie dla tych reaktorów jest podobne jak dla modeli CAP100 lecz perspektywa czasowa ich budowy jest znacznie dłuższa i nie należy się spodziewać ich wprowadzenia przed rokiem 2023.

### **Hualong One (HL-1000) – Hualong Pressurised Reactor (HPR-1000)**

W 2012 roku rząd w Pekinie polecił

koncernom CNNC i CGN racjonalizowanie budowy ich reaktorów jądrowych. W praktyce oznaczają to scalenie dwóch konstrukcji reaktorów: ACP1000 (CNNC) i ACPR1000 (CGN) w jeden standardowy model Hualong One.

Rdzeń reaktora stanowi 177 zestawów paliwowych o długości 3,66 m; wzbogacenie uranu wynosi 4,45%, a okres pomiędzy przeładunkiem paliwa 18-24 miesięcy. Reaktor posiada trzy pętle w układzie chłodzenia i dostarcza moc elektryczną 1150 MWe. Blok jądrowy wyposażony jest w podwójną obudowę bezpieczeństwa i aktywne systemy bezpieczeństwa z kilkoma elementami pasywnymi. Przewidywany okres pracy reaktora wynosi 60 lat, stopień wypalenia paliwa do 45 GWd/tU, odporność sejsmiczna 300 Gal. Systemy kontrolne mają być produkcji Areva-Siemens, pozostałe 90% wyposażenia będzie produkowane przez firmy chińskie. Orientacyjny koszt budowy przewidyuje się na 2800-3500 USD/kWe.

W rzeczywistości każda z firm zachowała swój łańcuch dostawców części do reaktora i ich wersje HL-1000 (HPR-1000) – różnią się nieznacznie między sobą. Model ten spełnia standardy bezpieczeństwa ustanowione przez MAEA i przyjęto go do szerokiego zastosowania w kraju oraz na eksport za granicę.

W marcu 2016 r. nastąpiła oficjalna inauguracja wspólnego przedsiębiorstwa utworzonego przez koncerny CGN i CNNC pod nazwą Hualong International Nuclear Power Technology Co, którego zadaniem ma być promocja tej technologii na rynkach zagranicznych jako flagowego produktu chińskiego przemysłu jądrowego.

W Chinach planuje się budowę czterech reaktorów typu HL-1000: w EJ Fuqing 5-6 (CNNC) oraz w EJ Fangchenggang 3-4 (CGN). W maju 2015 r. rozpoczęto wylewanie

pierwszego betonu pod płytę bloku Fuqing 5, a w grudniu tego samego roku pod płytę Fuqing 6 i Fangchenggang 3.

W październiku 2015 r. CGN zaproponował koncernowi EDF zastosowanie technologii Hualong One przy budowie EJ Bradwell B w Wlk. Brytanii. W listopadzie 2015 roku Chiny podpisały porozumienie w sprawie budowy reaktorów tego typu także w Argentynie (lokalizacja jeszcze nie sprecyzowana).

### **WWER**

Rosyjska firma Atomstroyexport była generalnym wykonawcą i dostawcą urządzeń do EJ Tianwan 1-2, gdzie zainstalowano dwa sprawdzone reaktory WWER-1000 w wersji V-428 o mocy 1060 MWe. Reaktory te wyposażone zostały w systemy sterujące Siemens-Areva. W budowie znajdują się kolejne dwa bloki tego samego typu. Strona rosyjska promuje także na rynku chińskim najnowszą wersję reaktora WWER - WWER-TOI (AES-2010) o mocy 1300 MWe cechujący się m.in. zwiększoną odpornością sejsmiczną, manewrowością, okresem, w którym nie jest wymagana interwencja operatora (tzw. grace period) wynoszącym 72 godz., czasem budowy 40 mies., mniejszymi kosztami budowy i mniejszym zużyciem paliwa. Reaktor ten spełnia wymagania dla reaktorów Gen. III+. Rosatom rozważa także możliwość stosowania w reaktorach tego typu paliwa MOX (do 35% rdzenia).

### **PHWR (Candu)**

Reaktory ciężkowodne Candu-6 są eksploatowane w Chinach od roku 2002 w EJ Qinshan III 1-2. We wrześniu 2005 r. Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) podpisała porozumienie z CNNC, które otworzyło możliwość dostawy kolejnych reaktorów i współpracy przy konstrukcji

zaawansowanego reaktora Candu (AFCR).

## **2.2.**

### **Stan i perspektywy rozwoju energetyki jądrowej**

W roku 2007 Państwowy Urząd ds. Bezpieczeństwa Jądrowego – National Nuclear Safety Administration (NNSA) wydał zezwolenie na posiadanie i eksploatację elektrowni jądrowych trzem państwowym podmiotom:

- China National Nuclear Corporation (CNNC);
- China General Nuclear Power Group (CGN);
- China Power Investment Corporation (CPI).

W ostatnim okresie daje się zauważyć wzrost zainteresowania energetyką jądrową ze strony innych znaczących graczy na rynku producentów energii. Należą do nich koncerny takie jak: Huaneng, Huadian, Datang oraz Guodian. Wykupują one mniejszościowe udziały w nowych inwestycjach jądrowych.

Obecnie Chiny eksploatują 33 jądrowe bloki energetyczne w jedenastu elektrowniach o sumarycznej mocy 28,97 GWe. Są to głównie bloki typu PWR II i III Gen. oddane do eksploatacji w latach 1990-2010. Należą do nich następujące modele reaktorów jądrowych:

- M310 – 4 bloki,
- CNP-300 – 1 blok,
- CNP-600 – 5 bloków,
- CPR-1000 – 18 bloków,
- WWER-1000 – 2 bloki.

Oprócz reaktorów lekkowodnych typu PWR w Chinach eksploatowane są 2 bloki ciężkowodne typu PHWR Candu-6, a także jeden eksperymentalny reaktor prędkości Chinese Experimental Fast Reactor (CEFR) o mocy 20 MWe (BN-20), który włączono do sieci w roku 2011.

W trakcie budowy znajdują się 22 bloki jądrowe o sumarycznej

**Tabela 1.**

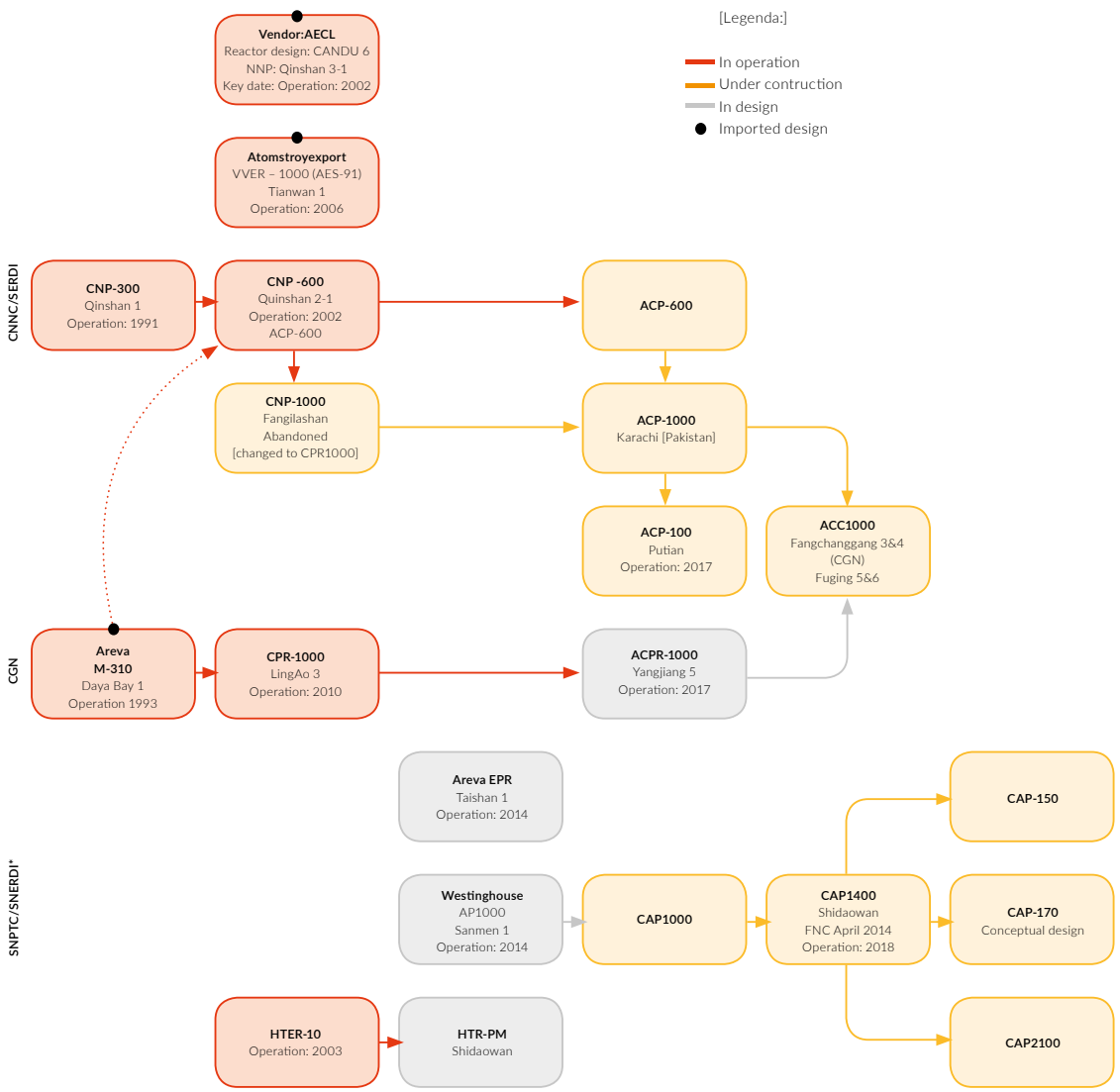
Wykaz reaktorów energetycznych eksploatowanych w Chinach

Lp.	Elektrownia	Prowincja / Lokalizacja	Operator	Typ reaktora (model)	Moc (net-to) MWe	Włączenie do sieci
1.	Daya Bay 1-2 (Guandong 1-2)	Guangdong / Shenzhen	CGN	PWR (M310) PWR (M310)	944 944	08/1993 02/1994
2.	Qinshan I Qinshan II 1-4  Qinshan III 1-2	Zhejiang / Jiaxing	CNNC	PWR (CNP-300) PWR (CNP-600) PWR (CNP-600) PWR (CNP-600) PWR (CNP-600) PHWR (Candu 6) PHWR (Candu 6)	298 610 610 610 610 650 650	12/1991 02/2002 04/2004 08/2010 11/2011 11/2002 06/2003
3.	Fangjiasan 1-2	Zhejiang / Jiaxing	CNNC	PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000)	1000 1000	11/2014 01/2015
4.	Ling Ao I 1-2  Ling Ao II 1-2	Guangdong / Shenzhen	CGN	PWR (M310) PWR (M310) PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000)	950 950 1007 1007	02/2002 08/2002 07/2010 05/2011
5.	Tianwan 1-2	Jiangsu / Lianyungang	CNNC	WWER (V-428) WWER (V-428)	990 990	05/2006 05/2007
6.	Ningde 1-4	Fujian / Ningde	CGN & Datang	PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000)	1018 1018 1018 1018	12/2012 01/2014 03/2015 03/2016
7.	Hongyanhe 1-4	Liaoning / Dalian	CGN & SPI	PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000)	1061 1061 1060 1060	02/2013 11/2013 03/2015 04/2016
8.	Yangjiang 1-2-3	Guangdong / Yangjiang	CGN	PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000+)	1020 1020 1020	12/2013 03/2015 10/2015
9.	Fuqing 1-2	Fujian / Fuqing	CNNC & Huadian	PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000)	1020 1020	08/2014 08/2015
10.	Fangchenggang 1	Guanxi	CGN	PWR (CPR-1000)	1020	10/2015
11.	Changjiang 1	Hainan	CNNC & Huadian	PWR (CNP-600)	610	11/2015
12.	China Institute of Atomic Energy	Beijing / Tuoli	CNNC	FBR (BN-20)	20	07/2011

Razem: 32 reaktorów w 11 elektrowniach  
1 reaktor w ośrodku badawczymMoc zainstalowana netto: **28,97 GWe**

### Schemat 1.

Schemat rozwoju reaktorów chińskich



**Tabela 2.**

Wykaz reaktorów energetycznych w budowie w Chinach

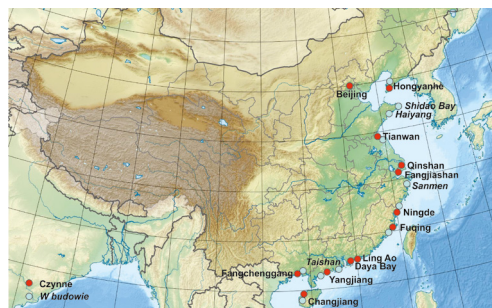
Lp.	Elektrownia	Prowincja / Lokalizacja	Typ reaktora (model)	Moc (brutto) MWe	Rozpoczęcie budowy	Planowane włączenie do sieci
1.	Changjiang 2	Hainan / Changjiang	PWR (CNP-600)	610	11/10	2016
2.	Fangchenggang 2-3	Guangxi / Fangchenggang	PWR (CPR-1000) PWR (HPR-1000)	1080 1161	12/10 12/15	2016 2020
3.	Fuqing 3-4-5-6	Fujian / Fuqing	PWR (CPR-1000) PWR (CPR-1000) PWR (HPR-1000) PWR (HPR-1000)	1080 1080 1161 1161	12/10 11/12 05/15 12/15	2015 2017 2019 2020
4.	Haiyang 1-2	Shandong / Haiyang	PWR (AP-1000) PWR (AP-1000)	1250 1250	09/09 06/10	12/15 03/16
5.	Hongyanhe 5-6	Liaoning / Dalian	PWR (ACPR-1000) PWR (ACPR-1000)	1080 1080	03/15 07/15	2019 2020
6.	Sanmen 1-2	Zhejiang/Taizhou	PWR (AP-1000) PWR (AP-1000)	1250 1250	04/09 12/09	02/16 2017
7.	Shidao Bay 1	Weihai / Shandong	HTGR (HTR-PM)	210	12/12	2017
8.	Taishan 1-2	Guangdong / Taishan	PWR (EPR) PWR (EPR)	1750 1750	11/09 04/10	2016 2017
9.	Tianwan 3-4-5	Jiangsu / Lianyungang	WWER (V-428M) WWER (V-428M) WWER (V-428M)	1060 1060 1060	12/12 09/13 12/15	02/16 03/17 10/19
10.	Yangjiang 4-5-6	Guangdong / Yangjiang	PWR (CPR-1000) PWR (ACPR-1000) PWR (ACPR-1000)	1080 1080 1080	11/12 09/13 12/13	2017 2018 2019

Razem: 22 reaktory w 10 elektrowniach

Przewidywana moc brutto: 24,69 GWe

**Mapa 1.**

Lokalizacja elektrowni jądrowych w Chinach



**Tabela 3.**

Główne parametry techniczne reaktorów jądrowych eksploatowanych w Chinach

Design	CPR-1000	ACPR 1000	EPR	CNP 600	ACP 600	AP 1000	CAP 1400	ACC 1000	European Utility Requirements (as reference)
Vendor	CGN	CGN	AREVA	CNNC	CNNC	Westing-house	SNPTC	CNNC/CGN	–
Number of loops	three	three	four	two	two	two	two	three	–
Electrical output (MWe)	1085	1150	1700	650	605	1250	1530	1150	Improved PWR upper limit 1350
Containment	single	double	double	single	double	double	double	double	–
Design life (years)	40 (+20)	60	60	40	60	60	60	60	60
Fuel cycle length (months)	18	18-24	18	12	18-24	18	18	18-24	24
Capacity factor (%)	≥90	92	≥92	~82	≥90		93	93	87
Core damage frequency (core/year)	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$	$7.75 \times 10^{-7}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-5}$	$\leq 5.1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	-	$1 \times 10^{-5}$
Large release frequency (core/year)	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$8.1 \times 10^{-8}$	$< 1 \times 10^{-5}$	$< 1 \times 10^{-6}$	$\leq 5.9 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-7}$	-	$1 \times 10^{-6}$
Seismic design criteria (g)	0.2	0.3	0.25	-	-	0.3	0.3	0.3	0.25

projektowanej mocy 24,69 GWe. Są to wyłącznie reaktory typu PWR II i III Gen. Należą do nich następujące modele reaktorów:

- II Gen. – 5 bloków:

1 x CNP-600

4 x CPR-1000

- III Gen. – 16 bloków:

4 x AP-1000

2 x EPR

3 x WWER-1000

4 x ACPR-1000

3 x HPR-1000 (HL-1000)

Oprócz reaktorów lekkowodnych typu PWR w Chinach budowany jest także eksperymentalny reaktor wysokotemperaturowy IV Gen. HTGR (HTR-PM).

W następstwie katastrofy w Fukushima w marcu 2011 r. Rada Państwa zdecydowała wstrzymać wydawanie zezwoleń na budowę nowych reaktorów do czasu, aż wprowadzony zostanie nowy plan bezpieczeństwa, zapewniający ich prawidłowe projektowanie, lokalizację, ochronę i eksploatację. Wstrzymano również prace przy budowie czterech bloków: Fuqing 4, 5 i 6 oraz Yangjiang 4, a także opóźniono rozpoczęcie budowy

reaktora HTR-PM. Pierwszą zgodę na budowę nowego obiektu, po 4-letnim okresie przerwy, wydano w marcu 2015 r. i dotyczyła ona bloków Hongyanhe 5 i 6.

Plany rozwoju chińskiej energetyki jądrowej zakładają budowę kolejnych elektrowni i następnych 42 bloków czeka na decyzje o rozpoczęciu budowy w latach 2016-2018. Plany perspektywiczne zakładają konstrukcję dalszych ok. 150 bloków o łącznej mocy ponad 150 GWe – nie precyzują jednak terminów rozpoczęcia budowy.

W ciągu ostatnich lat pojawiły się pierwsze symptomy opóźnień w budowie reaktorów. Wynoszą one odpowiednio 18-30 miesięcy w przypadku reaktorów AP1000 i są spowodowane zmianami konstrukcyjnymi dokonanymi w początkowym projekcie oraz wadami technicznymi i niską jakością niektórych komponentów reaktora. W przypadku reaktorów EPR opóźnienia wynoszą 13-15 miesięcy i są konsekwencją opóźnień przy budowie EJ Olkiluoto i Flamanville – bowiem NNSA nie chce polegać na wynikach testów jakościowych

przeprowadzanych w elektrowniach europejskich. Dodatkowo zwiększają je usterki stwierdzone w wyposażeniu dostarczonym na budowę EJ Taishan. [2]

Pojawiają się również wątpliwości odnośnie 26 EJ planowanych do budowy w głębi lądu. W październiku 2012 r. Rada Państwa wniosła wprawdzie zakaz dotyczący rozpoczynania nowych projektów, które wprowadzono w następstwie awarii jądrowej w Fukushima, lecz opóźniła podjęcie decyzji odnośnie obiektów oddalonych od linii brzegowej. Dotyczy to zwłaszcza prowincji Henan (lokalizacja Taohuajing dla 4 x AP1000) i związana jest z suszami, jakie dotknęły w ostatnim okresie te rejony. Ilość wody w rzece Jangcy zmniejszyła się w roku 2011 o 46% co doprowadziło do braków wody dla prawie 1 mln ludzi. Dodatkowo sprawę niezawodnego chłodzenia reaktorów komplikuje słaba jakość wody w głównych rzekach Chin - ich zanieczyszczenie i skażenie powoduje, że woda ta nie nadaje się do bezpośredniego użycia i musi być wstępnie oczyszczana.



### 3.

## Eksport technologii jądrowych

Chiny posiadają dobrze zdefiniowaną politykę eksportową w dziedzinie technologii jądrowych zatwierdzoną na szczeblu National Development and Reform Commission (NDRC). Oparta jest ona na rozwoju reaktorów CAP1400 i HL-1000, do których Chiny posiadają wszelkie prawa intelektualne oraz wspierana jest przez dobrze rozwinięty pełny cykl paliwowy.

W Pakistanie w EJ Chashma budowane są dwa nowe reaktory o mocy 300 MWe typu CNP-300 obok podobnych dwóch oddanych do użytku w latach 2000 i 2011. W 2013 r. podpisano porozumienie (CNNC) o wartości 9,6 mld USD w sprawie budowy dwóch reaktorów w EJ Kannup/Karachi. Mają być one skonstruowane w technologii Hualong One (HL-1000).

W maju 2014 r. Rumunia zawarła porozumienie z CGN w sprawie zbadania możliwości budowy dwóch nowych reaktorów typu Candu-6 w EJ Cernavoda. Wartość projektu wynosi ok. 7,7 mld EUR. W listopadzie 2015 podpisano porozumienie ramowe (MoU), na mocy którego rumuńskie przedsiębiorstwo Nuclearelectrica będzie miało 49% a CGN 51% akcji we wspólnym projekcie.

W czerwcu 2014 r. Argentyna i Chiny (CNNC) zawarły porozumienie zakładające budowę trzeciego bloku jądrowego z reaktorem Candu-6 o mocy 800 MWe w EJ Atucha. Będzie to czwarty blok jądrowy

w Argentynie. Zgodnie z umową, spółka Nucleoeléctrica Argentina będzie odpowiedzialna za przygotowanie projektu, budowę, rozruch i eksploatację nowego bloku. Jej chiński partner CNNC ma zapewnić dostawy sprzętu, towarów i usług. Szacuje się, że ok. 70% materiałów użytych przy budowie bloku będzie pochodziło z Argentyny. Budowa nowego bloku ma potrwać 8 lat. W listopadzie 2015 r. współpracę z Argentyną rozszerzono o porozumienie w prawie wspólnej budowy nowej elektrowni wyposażonej w reaktor lekkowodny typu HL-1000 oraz zakładu wzbogacania uranu. Będzie to pierwsza inwestycja zagraniczna Chin w zakresie technologii Hualong One. Wartość kontraktu wynosi ok. 15 mld USD.

W Wlk. Brytanii EDF Energy planuje budowę 4 reaktorów typu EPR w dwóch elektrowniach Sizewell i Hinkley Point. Oprócz EDF, który ma mieć w przedsięwzięciu budowy elektrowni 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 Power Group (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. W marcu 2016. Komisja Europejska wydała zgodę na współpracę EDF z CGN przy realizacji projektu Hinkley Point i Sizewell. Firmy zawarły porozumienie w sprawie podziału akcji, który ma wyglądać następująco:

- Hinkley Point: EDF – 66,50% i CGN – 33,50%;

- Sizewell: EDF – 80% i CGN – 20%.

CGN zamierza również zbudować EJ Bradwell z wykorzystaniem własnej technologii reaktora HL-1000 i EDF zobowiązał się pomóc uzyskać zgodę brytyjskiego dozoru jądrowego na jego budowę.

W listopadzie 2014 r. chiński koncern SNPTC wraz z firmą Westinghouse podpisały porozumienie z Turcją w sprawie budowy EJ wyposażonej w cztery bloki w technologii CAP 1400. Ma to być trzecia turecka elektrownia jądrowa i jeszcze nie sprecyzowano jej lokalizacji.

W sierpniu 2015 r. Chiny zawarły porozumienie z Iranem w sprawie budowy dwóch reaktorów modułowych małej mocy (SMR) na pół-wsch. wybrzeżu Zatoki Omańskiej (Makran). Będą to wielozadaniowe reaktory typu CAP-100 każdy o mocy 100 MWe służące do produkcji energii elektrycznej lub odsalania wody bądź wytwarzania pary technologicznej. Chiny wyraziły przy tym gotowość do udziału w finansowaniu tej inwestycji.

We wrześniu 2015 r. koncern CGE podpisał porozumienie ra-

mowe z Kenya Nuclear Electricity Board (KNEB) w sprawie możliwości budowy w Kenii elektrowni jądrowej w oparciu o technologię Hualong One.

W listopadzie 2015 r. chiński i pld.-afrykański dozór jądrowy podpisał porozumienie o współpracy technicznej obejmującej m.in. procedury licencyjne i szkolenie inspektorów. Chiny zamierzają uczestniczyć w przetargu na rozwój programu jądrowego RPA, który jest oceniany na 50 mld USD.

W maju 2016 r. koncern CNNC zawarł porozumienie ramowe z Ministerstwem Zasobów Wodnych

i Energetyki w rządzie Sudanu w sprawie możliwości budowy w tym kraju elektrowni jądrowej.

W lutym 2015 r. podczas wizyty premiera Francji Manuela Vallsa w Chinach, Areva podpisała z grupą CNNC porozumienie o współpracy w zakresie usług logistycznych i transportowych dla sektora nuklearnego. Zgodnie z umową, Areva będzie dostarczać stronie chińskiej narzędzia i know-how z zakresu wdrażania systemów logistycznych, związanych z transportem zużytego paliwa jądrowego. Najważniejszym celem porozumienia jest powołanie spółki celowej, która w przyszłości

zajmie się usługami transportu zużytego paliwa nuklearnego. Umowa została zawarta w następstwie partnerstwa strategicznego, nawiązanego pomiędzy Arewą i CNNC w marcu 2014 roku, w zakresie cywilnej współpracy nuklearnej, począwszy od cyklu paliwowego po reaktory i szeroką gamę związanych z tym usług.

Chiny prowadzą także rozmowy z Ukrainą w sprawie możliwości rozbudowy EJ Chmielnicka o bloki nr 3 i 4 oraz udziału w projekcie wydobywczym uranu w rej. Nowo-konstantinowska.

**Tabela 4.**

Aktualne zaangażowanie Chin w projekty zagraniczne

Państwo	Obiekt	Typ reaktora	Koszt	Koncern	Status Zaangażowanie
Pakistan	Chasma 3-4	2 x CNP-300	2,37 mld USD	CNNC	W budowie Chiny finansują 82% kosztów (1,9 mld USD)
	Karachi 1-2	2 x Hualong One	9,6 mld USD	CNNC	Planowane Chiny finansują 82% kosztów
Rumunia	Cernavoda 3-4	2 x Candu-6	7,7 mld USD	CGN	Planowane Udział w finansowaniu
Argentyna	Atucha 3 lokalizacja nie sprecyzowana	Candu-6 Hualong One	15 mld USD	CNNC	Planowane Udział w 85% w finansowaniu
Wielka Brytania	Sizewell, Hinkley Point	4 x EPR	14 mld GBP	CGN CNNC	Udział 30-40% w finansowaniu
	Bradwell	Hualong One		CGN	Propozycja współpracy
Iran	Makran	2xACP-100			MoU
Turcja		AP-1000 lub CAP-1400		SNPTC Westinghouse	Negocjacje
Kenia		Hualong One		CGE	MoU
RPA		CAP-1400		CNNC	Propozycja współpracy
Sudan		EJ		CNNC	MoU

## 4.

# Jądrowy cykl paliwowy

Chiny czynią usilne starania aby stać się samowystarczalnymi w wielu aspektach jądrowego cyklu paliwowego, lecz nadal są zależne od zagranicznych dostawców zarówno surowców jak i technologii. Przyjęty model zamkniętego jądrowego cyklu paliwowego z przerobem wypalonego paliwa.

### 4.1. Zasoby i wydobycie uranu

Przedsiębiorstwo państwowe China National Nuclear Corporation (CNNC) jest obecnie jedynym dostawcą uranu ze źródeł krajowych. Kontroluje ono także większość jądrowego cyklu paliwowego w Chinach.

Na terytorium Chin znajdują się zidentyfikowane<sup>2</sup> (RAR & IR) zasoby uranu wynoszące 199.100 tU przy koszcie wydobycia nie przekraczającym 130 USD/kgU [4]. Biorąc pod uwagę bieżące i planowane tempo rozwoju energetyki jądrowej zasoby te nie będą w stanie zaspokoić rosnącego zapotrzebowania na paliwo jądrowe. Skoncentrowane są one w czterech rodzajach pokładów geologicznych:

- osadach piaskowcowych (zlokalizowanych w płn. i płn-zach. regionach kraju). Stanowią 35% zasobów,
- skałach granitowych (zlokalizowanych w centralnych i pód-wsch. regionach kraju). Stanowią 28% zasobów,
- skałach wulkanicznych (zlokalizo-

wanych w pód-wsch. regionach kraju). Stanowią 21% zasobów kraju,- łupkach ilastych (zlokalizowanych w pód-wsch. regionach kraju). Stanowią 10% zasobów kraju.

Większość znanych zasobów zalega na głębokości nie przekraczającej 500 m., są to złoża o niskiej zawartości uranu i ich eksploatacja jest mało opłacalna. Ostatnie badania geologiczne wykazały, że pewien potencjał zasobów uranu istnieje także w złożach lignitu, łupkach i fosforytach. Krajowa produkcja uranu w 2015 r. wyniosła 1616 tU (1500 tU w 2014 r.) [5] i wystarcza do zasilania ok. 7 GWe, zaspokajając tym samym 1/3 krajowych potrzeb na paliwo jądrowe.

Firmy energetyczne sprowadzają uran z zagranicy i aktywnie poszukują nowych zasobów uranu w Kazachstanie, Uzbekistanie, Kanadzie, Namibii, Nigrze i Australii. W roku 2013 Chiny importowały 18968 tU za sumę 2,37 mld USD.

Wszystkie kopalnie w Chinach eksploatowane są przez przedsiębiorstwo China Nuclear Uranium Corporation (CNUC), które jest filią CNNC.

W roku 2006 utworzono przedsiębiorstwo China Guandong Nuclear Uranium Resources Co Ltd (CGN-URC) jako filię CGN, która miała dostarczać paliwo jądrowe do elektrowni należących do tego koncernu, a także odpowiadać za poszukiwanie i wydobycie uranu

oraz jego zakupy. Prowadzi ona poszukiwania uranu w regionie Xinjiang Ujgur i w maju 2011 r. ogłosiła zamiar budowy dwóch kopalni w tamtym rejonie, każda o wydajności 500 tU/rok.

Aby zapewnić dostawy uranu na rosnące potrzeby energetyki jądrowej rząd w Pekinie podejmuje działania na rzecz intensyfikacji poszukiwań krajowych zasobów uranu oraz nabywania udziałów w zagranicznych projektach wydobywczych.

W związku z koniecznością importu coraz większej ilości uranu CNNC utworzył przedsiębiorstwo China Nuclear International Uranium Corporation (SinoU), którego zadaniem jest pozyskiwanie zasobów uranu poza granicami kraju. W ramach tego programu powstała kopalnia Azelik oraz zakupiono 10% akcji w projekcie Areyv Imouraren w Nigrze. W styczniu 2014 r. zakupiono 25% akcji w kopalni Langer Heinrich w Namibii. SinoU bada obecnie możliwość pozyskania udziałów w projektach wydobywczych w Kazachstanie, Uzbekistanie, Mongolii, Namibii, Algierii i Zimbabwie. Kanada i RPA również są rozważani jako potencjalni dostawcy uranu dla SinoU.

Inne przedsiębiorstwo chińskie Sinosteel Corporation jest właścicielem akcji firmy wydobywczej PepinNini Minerale Ltd, która posiada zasoby uranu w Płd. Australii.

**Tabela 5.**

Wydobycie uranu odbywa się w sześciu następujących centrach wydobywczych:

Centrum wydobywcze	Region	Typ złoża	Sposób wydobycia	Wydajność [tU/rok]	Termin uruchomienia
Fuzhou	Jiangxi	skała wulkaniczna	podziemna	350	1966
Chongyi	Jiangxi	granitowe	podziemna	200	1979
Yining	Xinjiang	osady piaskowcowe	ISL	380	1993
Lantian	Shaanxi	granitowe	podziemna	100	1993
Benxi i Ginglong	Liaoning	granitowe wulkaniczne	podziemna	120 100	1996 i 2007
Shaoguan	Guangdong	granitowe	podziemna	100	2008

**Mapa 2.**

Rozmieszczenie zasobów uranu i centrów wydobywczych w Chinach



Sinosteel jest również zaangażowane w poszukiwaniu uranu w Kirgistanie oraz w prowincji Quebec w Kanadzie.

Przedsiębiorstwo CGN-URC, obok zaangażowania w poszukiwania zasobów krajowych posiada również dostęp do zagranicznych projektów wydobywczych zlokalizowanych w: Kazachstanie (projekty Zhalpak, Irkol, Semizbai), Namibii (projekt Husab) i Uzbekistanie (projekt Boztau).

## 4.2.

### Konwersja uranu

Zakłady konwersji uranu zlokalizowane są w następujących obiektach:

- Lanzhou w prowincji Gansu. Zakłady posiadają wydajność 5000 tU/rok. W tej samej lokalizacji budowany jest drugi zakład o planowanej wydajności 6000 tU/rok, którą ma osiągnąć w latach 2017-18.
- Diwopu w pń-zach prowincji Gansu. Zakład ten posiada wydajność ok. 500 tU/rok.
- Hengyang w prowincji Hunan. Budowany jest tam kolejny zakład o docelowej wydajności 3000 tU/rok. Ma on zostać uruchomiony w 2018 roku.
- Cangzhou w prowincji Hebei. Jest to nowa lokalizacja kompleksu Daying Industrial Park o wydajności 14000 tU/rok, który uprzednio planowany był do realizacji w Heshan w prowincji Guandong. Plany te zostały porzucone w lipcu 2013 r. Nowe zakłady mają rozpocząć przemysłowy przerób koncentratu uranowego w 2018 roku i osiągnąć pełną zdolność produkcyjną po roku 2020.

W przypadku zrealizowania powyższych planów do roku 2030 Chiny będą dysponować zakładami o zdolności konwersji ok. 31 000 tU/rok, co zapewni produkcję paliwa jądrowego dla reaktorów PWR o mocy 180 GWe.

## 4.3.

### Wzbogacanie uranu [8]

W roku 2010 zapotrzebowanie na uran naturalny wyniosło w Chinach 3600 tU oraz na 2,5 mln jednostek pracy rozdzielania<sup>3</sup> (SWU). W roku 2020 zapotrzebowanie to przewidyje się odpowiednio na poziomie 15000 tU i 9 mln SWU. W początkowej fazie rozwoju energetyki jądrowej większość uranu wzbogaconego pochodziła z importu w ramach kontraktów na pierwszy załadunek reaktorów budowanych przez zagranicznych dostawców technologii (Urenco, Tenex). Obecnie Chiny zamierzają być całkowicie niezależne i samowystarczalne pod względem zdolności do wzbogacania uranu, zarówno w obszarze badań i rozwoju jak i produkcji wirówek oraz ich eksploatacji.

Wszystkie zakłady wzbogacania uranu znajdują się w prowincjach Shaanxi oraz Gansu i zlokalizowane są w następujących obiektach:

Hanzhun/Hazhong w prowincji Shaanxi. Zakład ten uruchomiono w latach 90. XX w. na podstawie porozumienia z rosyjskim koncernem Tenex, który dostarczył technologię wirówek gazowych szóstej generacji. Był on stale rozbudowywany i w latach 2012-2014 wprowadzono w nim wirówki konstrukcji chińskiej. Obecnie roczna wydajność zakładu wynosi 2,2 mln SWU.

Lanzhou w prowincji Gansu. Zakłady zbudowane w roku 1964 początkowo dla celów militarnych, do 1997 r. wykorzystywały rosyjską technologię dyfuzji gazowej. W roku 2001 zastąpiono ją także rosyjską technologią wirówek gazowych. Zakłady rozbudowano i w roku 2013 wprowadzono wirówki rodzimej konstrukcji. Obecnie zakłady obejmują cztery obiekty wzbogacania CEP 1-4 o sumarycznej wydajności 3,56 mln SWU.

Heping w prowincji Sichuan.

W zakładach tych w latach 75-87 XX w. Istniał obiekt 814, który wykorzystywał metodę dyfuzji gazowej dla celów militarnych. Jego obecny status jest niejasny i prawdopodobnie produkuje uran wzbogacony do zasilania reaktorów napędowych chińskiej marynarki wojennej. Wydajność zakładów szacowana jest na 0,4 mln SWU.

Emeishan w prowincji Sichuan. Od 2013 r. istnieje tu zakład wzbogacania wykorzystujący technologię wirówek gazowych o wydajności 0,8 mln SWU. W tej samej lokalizacji budowany jest obecnie drugi zakład o tej samej projektowanej wydajności.

Obecnie Chiny dysponują zdolnościami do wzbogacania uranu rzędu 6-7 mln SWU i planują do roku 2020 ich zwiększenie do 11-12 mln SWU.

## 4.4.

### Produkcja paliwa uranowego

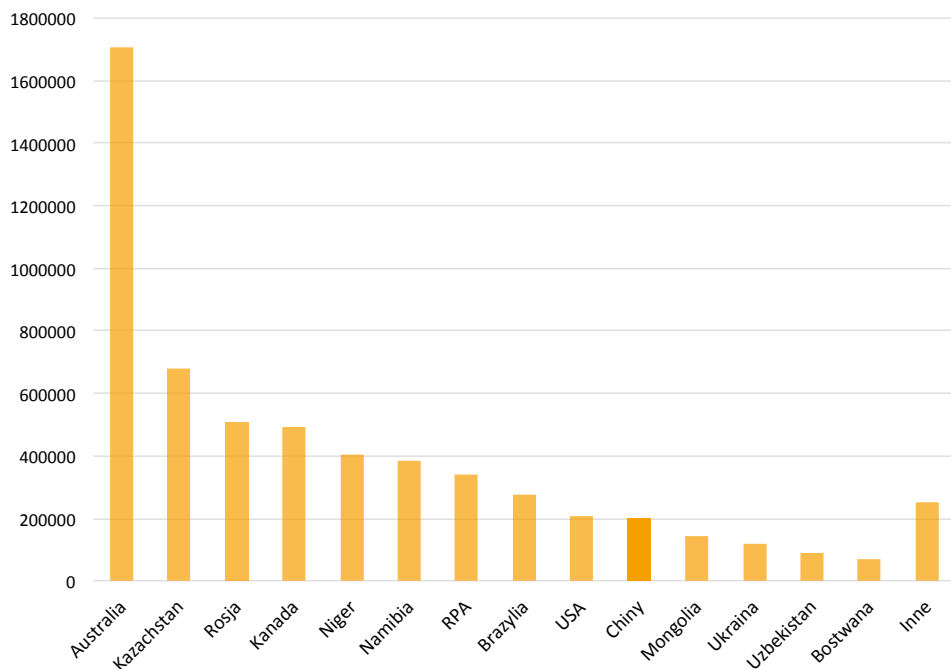
Za produkcję paliwa jądrowego odpowiedzialny jest koncern CNNC (China National Nuclear Corporation), który wykorzystuje technologie pozyskane od różnych firm inwestujących w chińską energetykę jądrową (Areva, Westinghouse, TVEL). Zakłady produkcji paliwa zlokalizowane są w kontynentalnej części kraju w prowincjach Sichuan i Inner Mongolia.

Zapotrzebowanie na paliwo uranowe w roku 2013 wyniosło 1300 tU i będzie rosło wraz ze zwiększaniem się liczby reaktorów - do 2020 r. może osiągnąć poziom 1800 tU.

Głównym zakładem produkcji paliwa dla reaktorów PWR jest zakład zlokalizowany w Yibin w prowincji Sichuan. Został on zbudowany w 1982 r. na bazie zakładów militarnych i pierwotnie dostarczał paliwo dla elektrowni Qinshan 1. Obecnie jest zarządzany przez przedsiębiorstwo China Jianzhong Nuclear Fuel (JNF), które jest filią CNNC. Rocznie w zakładach produkowane jest

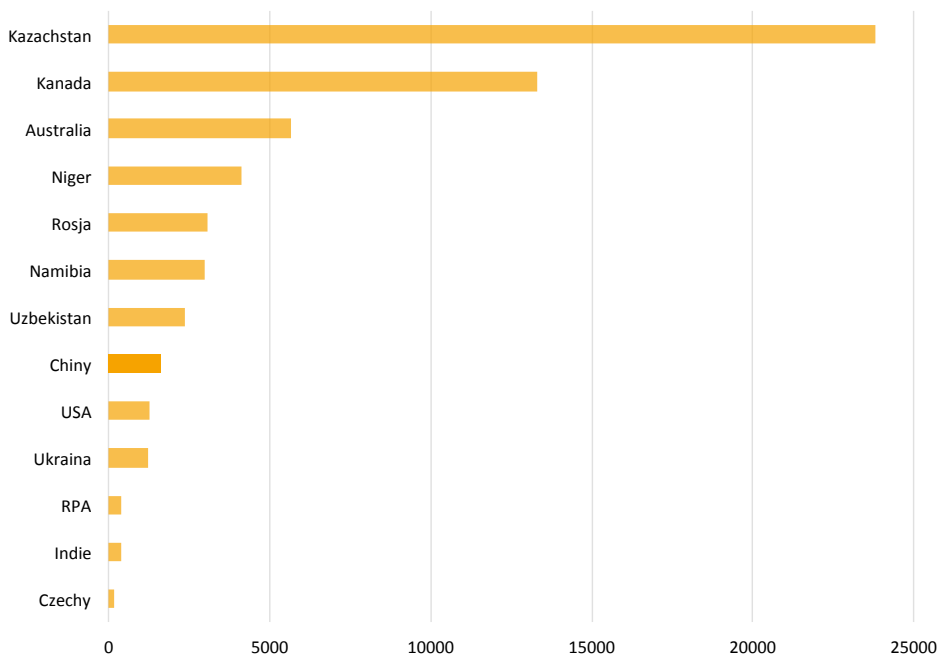
#### Wykres 4.

Rozpoznane światowe zasoby uranu [tU] o koszcie wydobycia <130 USD/kgU



#### Wykres 5.

Produkcja uranu na świecie w 2015 r. w tU

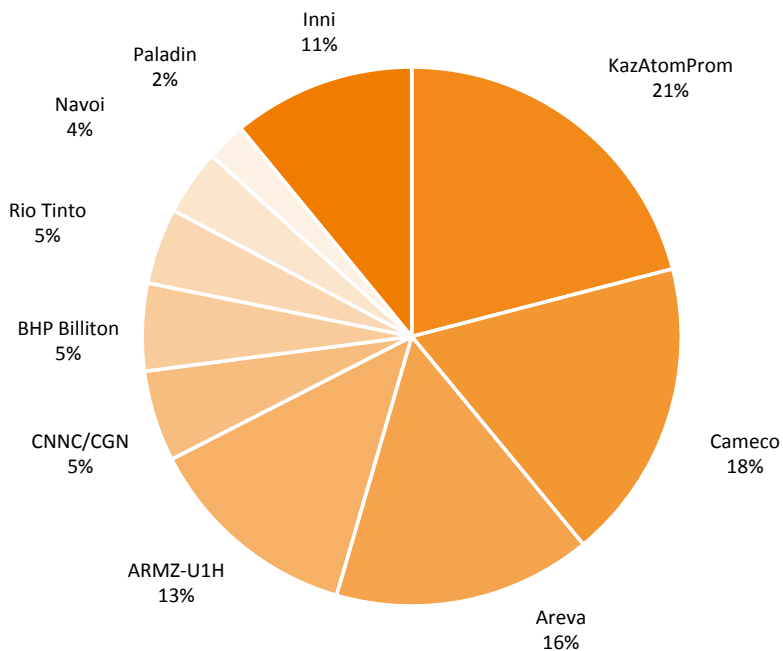


**Tabela 6.**

Przedsiębiorstwo	Państwo	Kopalnia	Udział [%]	Rozpoczęcie produkcji
SinoU	Niger	Azelik		2010
		Imouraren	10	2016
	Namibia	Langer Heinrich	25	2014
CGN-URC	Kazachstan	Zhalpak	49	2014
		Irkol Semizbai	49	2008 2009
	Namibia	Husab	90	2015
	Uzbekistan	Boztau	50	2015
Sinosteel	Płd. Australia			Udział w poszukiwaniach nowych złóż
	Kirgistan			
	Kanada			

**Wykres 6.**

Główni producenci uranu na świecie w 2015 r. w tU



800 tU paliwa dla reaktorów PWR i 100 tU dla reaktorów WWER. Plany zakładają wzrost produkcji do 1000 tU do roku 2020. Produkowane w zakładach paliwo zasila EJ Qinshan, Tianwan, Fuqing, Ningde, Hongyanhe i Yangjiang.

W zakładach rozpoczęto również wytwarzanie prototypowego paliwa rodzimej konstrukcji typu China Fuel 3 (CF3) dla reaktorów Hualong One. Paliwo to zakończyło w styczniu 2016 roku test napromieniowania, który został przeprowadzony w reaktorze CNP-600 w EJ Qinshan II-2. Źródłem pastylek paliwowych dla tego paliwa są zakłady Ulba Metallurgical Plant w Kazachstanie<sup>4</sup>.

Drugim ośrodkiem produkcji paliwa należącym do koncernu CNNC są zakłady w Baotou w prowincji Inner Mongolia zarządzane przez China North Nuclear Fuel Co Ltd (CNNFC). Zostały one uruchomione w 1998 roku w oparciu o zakłady wojskowe i obecnie stanowią główną bazę dla rozwoju nowych typów paliwa. Wytwarzają zestawy paliwowe do reaktorów PHWR typu CANDU (200 tU/rok) i dla starszych typów PWR (200 tU/rok). Opanowanie produkcji nowoczesnego paliwa odbywało się we współpracy i pod nadzorem firmy Areva.

W roku 2008 utworzono CNNC Baotou Nuclear Fuel Co Ltd w celu podjęcia produkcji zestawów paliwowych dla chińskich reaktorów AP-1000 (pierwszy rdzeń i kilka przeładunków zapewnia firma Westinghouse). W styczniu 2011 r. podpisano z tą firmą kontrakt o wartości 35 mln USD na projektowanie, wytwarzanie i montaż wyposażenia, które umożliwi Chinom samodzielną produkcję paliwa dla reaktorów tego typu. W maju 2016 roku zakończono budowę pierwszej linii produkcyjnej o projektowanej wydajności 400 ton/rok i przystąpiono do produkcji dwóch próbných

zestawów paliwowych, które mają zweryfikować poprawność procesu produkcyjnego.

W marcu 2016 r. w zakładach Baotou uruchomiono, zaprojektowaną przez Tsinghua University, linię do produkcji paliwa sferycznego o wzbogaceniu 9%, przeznaczonego do zasilania reaktora wysokotemperaturowego HTR-PM, który jest budowany w Shidaowan w prowincji Shandong. Na początku 2016 roku w zakładach Baotou wyprodukowano także prototypowe paliwo do reaktorów CAP1400.

Konkurencyjny koncern CGN także pracuje nad paliwem jądrowym do zasilania eksploatowanych bloków jądrowych. W lutym 2016 r. załadował cztery zestawy paliwowe własnej konstrukcji STEP-12 (Stride Toward Excellent Performance) oraz próbne zestawy ze stopu cyrkonu do bloku jądrowego Ling Ao II-1. Mają one tam przejść testy napromieniowania, które potwierdzą ich własności korozyjne i mechaniczne w warunkach napromieniowania neutronami. Koncern przewiduje, że zestawy STEP-12 będą stosowane w reaktorach II Gen. CPR1000 oraz III Gen. Hualong One.

W celu zaspokojenia rosnących potrzeb na paliwo i osiągnięcia samowystarczalności w tym względzie Chinę muszą uruchomić w najbliższym czasie dodatkowe zdolności produkcyjne. Ewentualny deficyt w mocach produkcyjnych będzie złagodzony poprzez kontrakty zawarte z francuską Arewą na dostarczenie dwóch pierwszych rdzeni i 17 przeładunków dla EJ Taishan oraz z rosyjskim TVEL na zaopatrywanie w paliwo EJ Tianwan do roku 2025.

Cyrkon do produkcji koszulek paliwowych wytwarzany jest od 2012 r. w zakładach CNNN Areva Shanghai Tubing Co (CAST) zlokalizowanych w Szanghaju. Zakłady te powstały w 2010 r. jako wspólne przedsięwzięcie CNNN i Arevy.

W styczniu 2016 roku koncern China National Nuclear Corporation (CNNC) ogłosił, że wyprodukował za pomocą drukarki 3D element zestawu paliwowego dla reaktora CAP1400. Jest to pierwsze użycie technologii druku 3D do produkcji paliwa jądrowego<sup>5</sup>. Poszczególne części zestawów paliwowych wymagają bardzo wysokiej precyzji wykonania, co jest skomplikowane technicznie i kosztowne. CNNC przy zastosowaniu technologii 3D będzie w stanie odtąd produkować takie elementy na skalę masową. Zastosowanie elementów wykonanych techniką druku 3D musi zostać jeszcze dokładnie przetestowane zanim uzyskają one dopuszczenie do użycia. Pomyślne wyniki tych testów pozwolą CNNC na produkcję innych skomplikowanych części reaktorów. Drukarka 3D została opracowana i wykonana przez firmę Bright Laser Technologies z siedzibą w Xian, stolicą prowincji Shaanxi.

China's Suzhou Nuclear Power Research Institute (SNPI) zawarł w styczniu 2016 r. porozumienie z dwoma hiszpańskimi firmami Enusa i Tecnatom o współpracy w dziedzinie systemów kontroli paliwa jądrowego. W ramach porozumienia strony będą pracować nad wdrożeniem przez China General Nuclear (CGN) wyposażenia i technologii do kontroli jakości paliwa jądrowego, opracowanych przez firmy hiszpańskie. Firmy te w ostatnim okresie dostarczyły podobne wyposażenie do zakładów Yibin, będących własnością China National Nuclear Corporation (CNNC). Współpraca naukowców hiszpańskich z SNPI zapoczątkowana została już w roku 2014 w ramach wspólnego projektu opracowania ultradźwiękowego systemu kontroli napromienionego paliwa SICOM-UT, który w ubiegłym roku został zainstalowany w EJ Daya Bay.



#### 4.5.

##### Produkcja paliwa MOX

W październiku 2010 roku belgijskie firmy Tractabel i Belgonucleaire wraz z ośrodkiem badawczym SCK-CEN podpisały porozumienie z CNNC w sprawie budowy w Chinach pilotażowego zakładu produkcji paliwa MOX. Wykorzystane tu będzie ponad 20-letnie doświadczenie Belgii w produkcji takiego paliwa, które stosuje w swoich reaktorach od 1995 roku.

#### 4.6.

##### Przerób wypalonego paliwa

Obecnie bloki jądrowe w EJ Daya Bay i Ling Ao oraz wczesne typy reaktorów M310 do CPR-1000 pracują w 18-o miesięcznym cyklu przetworzenia paliwa. Uzyskuje się tam stopień wypalenia 43-50 GWd/t. W nowszych reaktorach stosowanych w EJ LingAo II, Hongyanhe, Ningde i Yangjiang wykorzystywane jest zaawansowane paliwo zawierające gadolin jako wypalaną truciznę, dzięki czemu uzyskuje się większy stopień wypalenia 50-57 GWd/t.

Chiny przyjęły politykę zamkniętego cyklu paliwowego i w pierw-

szym etapie planują rozpoczęcie przerobu wypalonego paliwa z reaktorów PWR. W dalszej perspektywie zamierzają przejść do stosowania reaktorów prędkich na paliwo MOX i opanowania zaawansowanego przerobu paliwa metodą elektrometalurgiczną (pyroprocessing) oraz pełnego zamknięcia cyklu.

Pod koniec 2015 roku CNNC oszacował, że do końca 2030 roku 23500 ton paliwa będzie musiało zostać rozładowane z reaktorów, z czego 15000 znajdzie się w przechowalnikach suchych. Przy zainstalowanej mocy 80 GWe, rocznie będzie rozładowywane 2000 ton wypalonego paliwa.

Pilotażowy zakład przerobu paliwa wykorzystujący technologię PUREX został zbudowany w roku 2006 w kompleksie jądrowym Lanzhou w prowincji Gansu. W latach 2013-15 przerobiono w nim 50 ton wypalonego paliwa.

Utworzone w marcu 2015 r. przedsiębiorstwo CNNC Longrui Technology Company zamierza wybudować demonstracyjne zakłady przerobu paliwa w Gansu Nuclear Technology Industrial Park, które

będą mieć wydajność 200 t/rok.

Pierwotne plany zakładały również budowę do roku 2020 dużego (800-1000 t/rok) zakładu przerobu wykorzystującego rodzimą technologię ale zostały one zawieszono i w roku 2007 rozpoczęto rozmowy z Arevą w sprawie budowy takiego zakładu. W listopadzie 2015 r. podpisano porozumienie pomiędzy Arevą i CNNC w sprawie budowy zakładu przerobu paliwa o wydajności 800 t/rok zlokalizowanego w nadbrzeżnym ośrodku Xiapu w prowincji Jiangsu. Takie umiejscowienie zakładów pozwoli transportować wypalone paliwo statkami, a nie koleją na odległość 3000 km w głąb lądu (jak to pierwotnie zakładano wybierając lokalizację Jinta w prowincji Gansu). Budowa zakładów ma się rozpocząć w 2020 r. i zakończyć w 2030 roku.

We wspomnianej lokalizacji ma również znajdować się przechowalnik wypalonego paliwa o pojemności początkowo 3000 ton z możliwością rozbudowy do 6000 ton. Planowane jest także umiejscowienie tam zakładu wityfikacji wysokoaktywnych odpadów ciekłych [9].

2. Zasoby rozpoznane (zidentyfikowane) obejmują zasoby racjonalnie pewne (ang. Reasonably Assured Resources - RAR) i zasoby przypuszczalne (ang. Inferred Resources - IR).  
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 zużywanej 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. W grudniu 2015 r. CGN podpisał porozumienie z KazAtomProm w sprawie budowy na bazie istniejących zakładów Ulba Metallurgical Plant zakładu produkcji zestawów paliwowych o zdolności produkcyjnej 200 tU/rok.

5. Technologia 3D została wprowadzona do sektora jądrowego w roku 2014 przez brytyjską firmę Sellafield Ltd, do skanowania oraz produkcji metalowych i plastikowych potencjalnie niebezpiecznych elementów w trakcie demontażu elektrowni i zakładów przerobu paliwa. Za pomocą tej technologii zaprojektowano i wykonano nowe pokrywy pojemników do transportu odpadów promieniotwórczych.

## 5. Postępowanie z odpadami promieniotwórczymi

W oparciu o spodziewane tempo wzrostu mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych z 20 GWe w 2010 r. do 40 GWe w 2020 r. przewiduje się, że w roku 2020 ilość zgromadzonego wypalonego paliwa wyniesie w Chinach ok. 12.000 ton.

Obecnie większość tego paliwa przechowywana jest w basenach (mokrych przechowalnikach) na terenie elektrowni. W m. Lanzhou w prowincji Gansu zbudowane zostało centralne składowisko wypalonego paliwa. Jego początkowa pojemność wynosi 550 ton i może być podwojona. Składowisko suche zlokalizowane zostało w Qinshan i jest stale rozbudowywane.

Odpady wysokoaktywne mają podlegać wityfikacji, następnie będą kapsułowane i składowane w głębokich formacjach geologicznych na głębokości 500 m. Obecnie trwa wybór miejsca składowania i docelowo będzie to jedna z trzech lokalizacji w rejonie Beishan w prowincji Gansu. W latach 2015-20 wybudowane zostanie tam laboratorium podziemne, które ma prowadzić prace badawcze przez 20 lat. Ostateczne składowisko ma zostać uruchomione w roku 2040.

W roku 2014 rozpoczęto budowę zakładów wityfikacji odpadów wysokoaktywnych w m. Sichuan, gdzie zgromadzono już 800 m<sup>3</sup> odpadów ciekłych. Będą one wykorzystywać

niemiecką technologię opracowaną przez Karlsruhe Institute of Technology. Zakłady w całości przetwarzają będą odpady militarne, ale technologia może w przyszłości być stosowana również w zakładach cywilnych.

Składowanie odpadów nisko- i średnioaktywnych na skalę przemysłową realizowane jest w dwóch lokalizacjach: Yumen w prowincji Gansu i w Beilong w prowincji Guangdong. Trzecie składowisko tego rodzaju budowane jest w pld.-zach. części Chin, docelowo ma powstać pięć takich obiektów.

## 6. Parki przemysłowe

W 2010 roku rozpoczęto tworzenie dwóch znaczących parków technologicznych, skoncentrowanych na energetyce jądrowej.

Pierwszy z nich znany jako Nanjing Jiangning Binjiang Development Zone znajduje się w pobliżu m. Nanjing w prowincji Jiangsu, zajmuje obszar 51 km<sup>2</sup> i stanowi bazę dla technologii jądrowych. Na jego obszarze znajduje się ośrodek badawczy betonu klasy jądrowej i stanowić ma centrum przetadunkowe oraz terminal transportowy dla modułów reaktorów CPR-1000 i AP-1000, które będą ładowane i transportowane barkami po rzece Jangcy.

Drugim parkiem jest China Haiyan Nuclear Power City zbudowany w m. Haiyan w prowincji Zhejiang w delcie rzeki Jangcy. Oprócz znajdującej się na jego terenie EJ Qinshan park ten jest siedzibą 18 wiodących firm dostarczają-

cych wyposażenie dla energetyki jądrowej, a także filii głównych instytutów projektowych i firm budowlanych. Zajmuje obszar 130 km<sup>2</sup> i zakłada się, że będą tu realizowane przedsięwzięcia z czterech głównych obszarów: produkcja wyposażenia dla przemysłu jądrowego, szkolenie i trening, zastosowanie technik jądrowych w medycynie, rolnictwie, detekcji oraz promocja przemysłu jądrowego.

Kolejnym parkiem technologicznym jest Taishan Clean Energy Equipment Industrial Park otwarty w 2010 w regionie Pearl River Delta w prowincji Guangdong. Ma on stać się centrum produkcji sprzętu i wyposażenia dla elektrowni jądrowych, w początkowej fazie dla pobliskich projektów jądrowych, a następnie do 2020 roku przejąć wiodącą rolę w zakresie badań i rozwoju oraz obsługi wyposażenia

wszystkich elektrowni.

W maju 2013 r. CGN i CNNC ogłosiły wspólną budowę kompleksu Daying Industrial Park w Heshan w prowincji Guangdong. Miał on mieć powierzchnię 200 ha i zawierać zakłady produkcji paliwa o wydajności 1000 tU/rok, zakłady konwersji uranu (14000tU/rok) i zakład wzbogacania uranu. Plany te zostały porzucone jeszcze w tym samym roku i perspektywy tego projektu są nieznane.

Oprócz wymienionych parków technologicznych w Chinach znajduje się również fabryka produkująca moduły do reaktorów AP-1000 zlokalizowana w m. Haiyang na wybrzeżu oraz druga w centrum prowincji Hubei, wspierająca pod względem technicznym i budowlanym projekty AP-1000 realizowane w głębi lądu, a w przyszłości także budowę reaktorów CAP-1400.

## 7.

# Badania i rozwój technologii jądrowych

Początkowo badania i rozwój technologii jądrowych skoncentrowane były na zastosowaniach militarnych. Reaktor chłodzony wodą z moderatorem grafitowym przeznaczony do produkcji plutonu uruchomiono w 1966 r. w Jiuquan Atomic Energy Complex w prowincji Gansu. W roku 1980 przystosowano go także do wytwarzania elektryczności i w roku 1984 produkcję plutonu ostatecznie wstrzymano. Na terenie ośrodka jądrowego znajdował się także zakład przerobu paliwa wykorzystywany do pozyskiwania plutonu. Inny reaktor o większej mocy do produkcji plutonu wraz z zakładem przerobu paliwa znajdował się w Guangyuan w prowincji Sichuan. Rozpoczął on pracę w roku 1975 i produkował pluton dla zastosowań militarnych do 1992 roku.

### 7.1. Reaktory badawcze

Oprócz reaktorów przeznaczonych do celów militarnych Chiny dysponują 19 reaktorami badawczymi.

Leshan Nuclear Power Institute of China w Jiayang w prowincji Sichuan eksploatuje od roku 1979 lekkowodny wysokostrumieniowy reaktor o mocy 125 MWt High-Flux Engineering Test Reactor (HFETR). W roku 2007 dokonano jego konwersji na paliwo o niskim stopniu wzbogacenia (LEU).

China Institute of Atomic Energy (CIAE) zlokalizowany w pobliżu Pe-

kinu prowadzi badania podstawowe w dziedzinach energii i technologii jądrowej i jest wiodącym ośrodkiem w zakresie reaktorów prędkich. Eksploatował on w latach 1958-2007 reaktor ciężkowodny o mocy 15 MWt. W instytucie w 2010 r. zbudowano nowy uniwersalny wielozadaniowy reaktor lekkowodny typu basenowego o mocy 60 MWt China Advanced Research Reactor (CARR) z reflektorem z ciężkiej wody. Budowany jest tu także reaktor prędkości China Experimental Fast Reactor (CEFR) o projektowanej mocy 65 MWt.

China Academy of Sciences (CAS) podpisała w roku 2010 porozumienie o współpracy z belgijskim ośrodkiem badań jądrowych SCK-CEN w Mol w ramach projektu MYRRHA<sup>6</sup>, który Chiny zamierzają wykorzystać w przyszłości do badań nad zamkniętym cyklem paliwowym.

### 7.2. Program rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych (HTR)

Program rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych zapoczątkowany został w Chinach 15 lat temu i oparty był głównie na reaktorze demonstracyjnym HTR-10 o mocy 10 MWt eksploatowanym przez Institute of Nuclear and New Energy Technology (INET) na uniwersytecie Tsinghua pod Pekinem. Reaktor ten osiągnął pełną moc w roku

2003 i początkowo skojarzony był z generatorem prądu - helu bezpośrednio napędzał turbinę gazową w cyklu Braytona. Ponieważ temperatura helu uzyskiwana na wyjściu reaktora tego typu wynosi 700-950 °C, umożliwia to zastosowanie go także jako źródła ciepła procesowego, wykorzystywanego następnie do gazyfikacji węgla, produkcji wodoru lub wydobywania i przerobu ropy naftowej. Między innymi podjęto współpracę z Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) w badaniach nad produkcją wodoru. Reaktor HTR-10 konstrukcyjnie podobny jest do reaktora z rdzeniem usypanym (pebble bed modular reactor, PBMR) zbudowanego w RPA w 1993 r. w oparciu o projekt niemieckiego reaktora wysokotemperaturowego THTR-300, który pracował przez 2 lata w Hamm-Uentrop, zanim pod naciskiem działaczy ekologicznych musiano go wyłączyć i zdemontować.

Kamieniem milowym w rozwoju energetyki jądrowej będzie z pewnością uruchomienie przez China's Nuclear Engineering & Construction Group (CNEC) w 2017 roku w Shidaowan w prowincji Shandong elektrowni jądrowej o mocy 210 MWe opartej o dwa bliźniacze reaktory wysokotemperaturowe chłodzone helem z rdzeniem usypanym HTR-PM. Należą one do reaktorów IV Gen. (GIF) i każdy ma mieć moc 105 MWe. Elektrownia

będzie pierwszym w świecie tego typu obiektem uruchomionym na skalę komercyjną.

Prace budowlane rozpoczęte w grudniu 2012 r. są już na ukończeniu. W marcu 2016 r. dostarczono na plac budowy dwa zbiorniki reaktorów o wysokości 25 m i wadze 700 ton i pierwszy z nich zainstalowano w budynku reaktora; drugi ma być zamontowany w maju. Zbiorniki zostały zbudowane w zakładach Shanghai Electric Nuclear Power Equipment w Szanghaju. W ciągu kolejnych 18 miesięcy nastąpi instalacja ostatnich elementów reaktorów, przeprowadzane będą ich testy i załadunek paliwa. Stan pierwszej krytyczności (rozpoczęcie reakcji łańcuchowej) ma zostać osiągnięty w listopadzie 2017 r.

Reaktor wysokotemperaturowy pracuje w bardzo wysokiej temperaturze dochodzącej do 950 OC i zasilany jest specjalnym paliwem jądrowym typu TRISO (tristructural-isotropic), które ma kształt luźnych grafitowych kul o średnicy 6 cm zawierających ok. 15 tys. powlekanych ceramicznie granulki dwutlenku uranu. Reaktory tego typu są odporne na stopienie rdzenia, bowiem osłona z grafitu pełni rolę osłony bezpieczeństwa i zapewnia ochronę przed zniszczeniem paliwa nawet w temperaturach przekraczających warunki normalnej pracy. Wymiana ciepła zachodzi w reaktorze w sposób naturalny bez konieczności stosowania zewnętrznych źródeł wody. Dodatkowo ujemny temperaturowy współczynnik mocy reaktora powoduje, że w przypadku przekroczenia pewnej temperatury reakcja jądrowa zanika i reaktor wyłącza się samoczynnie. Budowa modułowat zapewnia wysoką elastyczność w jego wykorzystaniu i możliwość dostosowania projektu do konkretnego miejscowego zapotrzebowania na moc lub ciepło procesowe.

W zakładach Baotou (Inner Mongolia) 27 marca 2016 r. uruchomiono produkcję paliwa sferycznego przeznaczonego do zasilania reaktora. Linia produkcyjna ma mieć wydajność 300 000 elementów rocznie. Testy jakościowe tego paliwa, zakończone w grudniu 2015 r. przeprowadzono w reaktorze HFR w Petten w Holandii.

Reaktor HTR-PM ma stanowić podstawę (moduł) do rozwoju większych reaktorów tego typu. Przyszły reaktor planowany do budowy w m. Ruijin w prowincji Jiangxi o mocy 600 MWe będzie składał się z trzech modułów HTR-PM. Obecnie ośrodek INET prowadzi prace nad zwiększeniem mocy modułu i wykorzystaniem do jego zasilania paliwa z zawartością toru.

W roku 2006 rząd w Pekinie umieścił małe, wysokotemperaturowe reaktory chłodzone gazem wśród najważniejszych priorytetów w dziedzinie nauki i technologii na okres najbliższych 15 lat. Celem jest w pierwszej kolejności zbadanie możliwości skojarzonej produkcji energii, a następnie produkcji wodoru na skalę przemysłową. Docelowo planuje się uruchomienie produkcji seryjnej reaktorów HTR stosowanych zarówno do produkcji energii elektrycznej jak i w procesach chemicznych oraz wyjście Chin z tą technologią na rynki światowe. W styczniu 2016 r. Chiny podpisały już porozumienie ramowe w sprawie budowy reaktora HTR w Arabii Saudyjskiej.

### 7.3.

#### **Program rozwoju reaktorów na stopione sole toru**

China Academy of Sciences (CAS) w styczniu 2011 r. uruchomiła program badawczo-rozwojowy w zakresie rozwoju technologii reaktorów pracujących na paliwie wykorzystującym stopione sole toru (Th-MSR lub TMSR). Chiny utrzymują, że są światowym lide-

rem w badaniach nad tą technologią i mają nadzieję na otrzymanie w przyszłości patentu i pełnych intelektualnych praw własności do niej. W ramach tego projektu powstało w Szanghaju centrum badawcze TMSR Research Centre zlokalizowane w Shanghai Institute of Nuclear Applied Physics (SINAP), gdzie budowany jest prototypowy reaktor MSR o mocy 5 MWe zaliczany do systemu reaktorów czwartej generacji (GIF)<sup>7</sup>. Jest on także znany jako reaktor wysokotemperaturowy chłodzony solami fluoru (FHR) lub zaawansowany reaktor wysokotemperaturowy (AHTR)<sup>8</sup>. Ma być oddany do użytku w roku 2020. W ośrodku tym powstaje także reaktor podkrytyczny o mocy 2 MWe pobudzany akceleratorem (ADS) do badań nad zamkniętym cyklem uranowo-torowym.

W ramach rozwoju programu TMSR przyjęto dwie koncepcje reaktorów:

- TMSR-SF – na paliwo stałe typu TRISO (zawierające uran i tor) z rdzeniem usypanym, chłodzony mieszaniną stopionych soli, pracujący w cyklu otwartym bez recyklingu zużytego paliwa. Koncepcja ta umożliwi jedynie częściowe wykorzystanie toru jako materiału paliworodnego<sup>9</sup> i wymaga również stosowania uranu wzbogaconego. Początkowo ma być uruchomiony pilotażowy reaktor o mocy 2 MWt (TMSR-SF1) i eksperymentalny o mocy 100 MWt (TMSR-SF2) ok. roku 2025, a następnie elektrownia o mocy 1 GWe (TMSR-SF3) do roku 2030.

- TMSR-LF – na ciekłe paliwo fluorkowe (LiF-ThF4-UF4) zawierające tor, które jest rozpuszczone w chłodzivię składającym się z mieszaniny fluorków litu i berylu (FLiBe), pracujący w cyklu zamkniętym z odzyskiem rozszczepialnego izotopu uranu U-233. Instytut planuje do

roku 2018 budowę prototypowego reaktora na ciekłe paliwo torowe o mocy 2 MWt (TMSR-LF1), eksperymentalnego reaktora o mocy 10 MWt (TMSR-LF2) do roku 2025 i bloku demonstracyjnego o mocy 100 MWt (TMSR-LF3) z pełnym recyklingiem wypalonego paliwa do roku 2035. Docelowo w planach powstać ma elektrownia o mocy 1 GWe.

W SINAP planowane jest również opracowanie reaktora prędkiego TMSFR-LF przeznaczonego do wypalania aktywności pochodzących ze zużytego paliwa z reaktorów lekkowodnych.

W chińskim projekcie rozwoju reaktorów na stopione sole aktywnie uczestniczy również Departament Energii USA (Oak Ridge NL, gdzie technologia takich reaktorów została opracowana już w latach 1960.) oraz australijska organizacja badań naukowych ANSTO. Zdaniem naukowców amerykańskich Chiny poczyniły w ostatnim okresie znaczne postępy w badaniach nad tą technologią i zdecydowanie wysunęły się na czoło światowej stawki. Osiągnęły takie postępy m.in. poprzez zaangażowanie przy tym projekcie ponad 700 naukowców.

#### 7.4.

##### **Badania nad zaawansowanym cyklem paliwowym**

Na początku 2008 roku Nuclear Power Institute of China (NPIC) zawarł porozumienie z Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) w sprawie prowadzenia wspólnych badań nad zaawansowanym cyklem paliwowym. Początkowo dotyczyły one technologii DUPIC (bezpośredniego użycia wypalonego paliwa z reaktorów PWR w reaktorach CANDU), którą opracowała Korea Płd. Dalsze wspólne prace badawcze zaowocowały komercyjnym zastosowaniem wypalonego paliwa w blokach CANDU w EJ Qinshan oraz opracowaniem projektu koncepcyjnego

Advances Fuel Candu Reactor (AFCR), który został zoptymalizowany do użycia paliwa z przetworzonego uranu (RepU) i paliwa torowego. W przyszłości oba bloki EJ Qinshan zostaną zmodyfikowane do standardu AFCR, a następnie wybudowany nowy obiekt tego typu. Jeden reaktor AFCR może zostać całkowicie załadowany paliwem pochodzącym z przerobu paliwa rozładowanego z czterech reaktorów PWR. Może być on także zasilany paliwem torowym. Budowa reaktorów AFCR pozwoli znacznie zmniejszyć ilość wypalonego paliwa z reaktorów PWR oraz objętość odpadów wysokoaktywnych, które będzie trzeba składować jak również zmniejszy zapotrzebowanie Chin na świeży uran naturalny i pozwoli wykorzystywać rodzime bogate zasoby toru.

#### 7.5.

##### **Program rozwoju reaktorów prędkich**

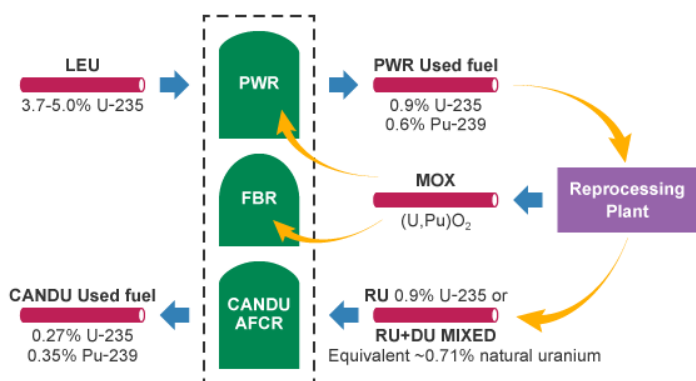
Program ten oparty jest obecnie na eksperymentalnym reaktorze Chinese Experimental Fast Reactor (CEFR). Jest to reaktor prędko chłodzony sodem o mocy 65 MWt uruchomiony w roku 2010 w China Institute of Atomic Energy (CIAE) pod Pekinem. Został on zbudowany przez rosyjską firmę OKBM Afrikantov przy współpracy OKB Gidropress, NIKIET oraz Kurchatov Institute. Włączono go do sieci w lipcu 2011 roku, pełną moc 20 MWe uzyskano w grudniu tamtego roku. Pracuje na wysokowzobogaczonym paliwie uranowym (65%) UO<sub>2</sub>.

Następnym etapem w programie rozwoju reaktorów prędkich (tzw. Project 1) miał być planowany do budowy w latach 2017-2023 prototypowy reaktor prędko dużej mocy Chinese Demonstration Fast Reactor CDFR-1000 zaprojektowany przez CIAE. Projekt przewidywał konstrukcję trzypętlową, basenową o mocy 2500 MWt, na paliwo MOX

o stopniu wypalenia 66 Gwd/t. Zakładana temperatura pracy wynosiła 544 OC, współczynnik powielania paliwa 1,2 i czas pracy 40 lat. Reaktor ten w założeniach miał stanowić podstawę dla wdrożenia do roku 2030 komercyjnych reaktorów prędkich pracujących docelowo na paliwie metalicznym w cyklu zamkniętym lecz jak dotąd nie rozpoczęto prac nad tym projektem.

Podpisano natomiast w roku 2009 porozumienie z rosyjskim przedsiębiorstwem Atomstroyexport w sprawie budowy elektrowni jądrowej w Sanming w prowincji Fujian wyposażonej w dwa reaktory BN-800 (tzw. Project 2). W roku 2010 utworzono wspólne przedsiębiorstwo Sanming Nuclear Power Co Ltd i prace budowlane miały się rozpocząć w roku 2013. Spodziewano się, że projekt ten doprowadzi do dwustronnej współpracy w zakresie cyklu paliwowego reaktorów prędkich. Wg niepotwierdzonych źródeł został on jednak zawieszony na czas nieokreślony.

Najnowszym chińskim projektem w dziedzinie reaktorów prędkich jest podjęcie przez CGN i Xiamen University wspólnych prac badawczych nad technologią reaktora z falą bieżącą (travelling-wave reactor, TWR). Jest to rodzaj reaktora prędkiego wykorzystującego uran naturalny (Unat) lub zubożony (DU) jako materiał paliworodny, w którego rdzeniu tworzy się z izotopu U-238 front „fali” rozszczepialnego Pu-239. Powstająca fala Pu-239 porusza się w reaktorze na zewnątrz w kierunku jego obudowy z prędkością 1 cm na rok, aż cały materiał paliworodny zostanie przekształcony w materiał rozszczepialny i reakcja rozszczepienia wygaśnie. Odmianą reaktora TWR jest reaktor z falą stojącą, w którym fala Pu-239 jest utrzymywana w rdzeniu za pomocą zmiany położenia (przegru-



### Schemat

Schemat przyszłego cyklu paliwowego w Chinach



### Fotografia 3.

Pływająca elektrownia jądrowa koncernu CG



### Fotografia 4.

Elektrownia jądrowa Sanmen



### Fotografia 5.

Druga faza budowy elektrowni jądrowej Tianwan

powyżania) zestawów paliwowych. W październiku 2015 r. CNNC i firma TerraPower<sup>10</sup> podpisały porozumienie w sprawie budowy prototypowego reaktora TWR o mocy 600 MWe. Rozpoczęcie budowy ma nastąpić w roku 2018 i zakończyć w oku 2023.

Powyższe fakty świadczą o tym, że jak dotąd polityka chińska w zakresie reaktorów prędkich wydaje się jeszcze nie być do końca sprecyzowana. Nie należy zatem spodziewać się w Chinach pierwszego komercyjnego reaktora prędkiego przed rokiem 2025. Plan pierwotny zakłada jedynie uruchomienie do 2050 roku 40 GWe mocy w elektrowniach z reaktorami prędkimi, nie mówi się w nim natomiast nic na temat budowy koniecznych zakładów towarzyszących, które pozwolą zamknąć cykl paliwowy na reaktorach prędkich (produkcja nowych rodzajów paliwa, ekstrakcja z wypalonego paliwa i recykling plutonu, produkcja paliwa z materiałów wysokoaktywnych itp.).

## 7.6.

### Reaktory lekkowodne

Należący do CNNC Nuclear Power Institute of China z siedzibą w Chengdu pracuje obecnie nad koncepcją nadkrytycznego reaktora wodnego (SCWR)<sup>11</sup>, zarówno w wersji zbiornikowej jak i kanałowej. Opracowano dwie koncepcje pracy rdzenia takiego reaktora – na neutronach termicznych i na rdzeniu mieszanym (część na neutronach termicznych i część na neutronach prędkich). W roku 2022 planowane jest uruchomienie pierwszego demonstratora tej technologii.

## 7.7.

### Systemy reaktorowe pobudzone akceleratorem (ADS)

W ramach współpracy międzynarodowego forum reaktorów IV Gen

(GIF) China Academy of Sciences (CAS) rozpoczęła w roku 2011 program badań nad systemem reaktora podkrytycznego pobudzanego akceleratorem (ADS). Za reaktor referencyjny przyjęto China Lead Alloy Reactor (CLEAR). Projekt zakłada budowę do roku 2020 reaktora badawczego chłodzonego eutektyką ołowiuo-bizmutową o mocy 10 MWt pracującego zarówno w trybie krytycznym jak i podkrytycznym z pobudzeniem za pomocą akceleratora. Będzie on wykorzystywany do badań nad transmutacją mniejszych aktywności (MA), spalaniem transuranowców (TRU), produkcją paliwa z materiałów paliworodnych (U-238, Th) (breeding) i produkcją trytu.

W marcu 2016 r. koncern CGN zawarł porozumienie z akademią nauk CAS w sprawie współpracy naukowej na rzecz rozwoju systemów ADS - Accelerator-Driven Advanced Nuclear Energy Systems (ADANES).

## 7.8.

### Program badań nad syntezą termojądrową

Badania nad zastosowaniem syntezy termojądrowej do celów energetycznych realizowane są w Institute of Plasma Physics CAS (ASIPP) w Hefei w prowincji Jiangsu. Podstawowym instrumentem badawczym instytutu jest Experimental Advanced Superconducting Tokamak (EAST), za pomocą którego uzyskuje się i bada plazmę wysokotemperaturową. Badania te trwają w instytucie od ponad 30 lat, początkowo przy pomocy tokamaków HT-6M i HT-7. Plazmę po raz pierwszy uzyskano w tokamaku HT-7 w roku 1995 i maksymalnie utrzymano ją przez 400 sekund.

Budowa tokamaka EAST rozpoczęta została w roku 2000 i pierwszą plazmę wytworzono w nim w roku 2006. W lutym 2016 r. chiński naukowiec odniósł spek-

takularny sukces w zakresie badań nad fuzją termojądrową uzyskując w tokamaku EAST plazmę o temperaturze 50 mln 0C, którą utrzymali przez okres 102 s<sup>12</sup>. Celem badań przy użyciu reaktora EAST jest utrzymanie plazmy o temperaturze 100 mln 0C przez 1000 s co pozwoli w przyszłości otworzyć drogę do komercyjnego zastosowania fuzji termojądrowej do produkcji energii elektrycznej.

Oprócz prowadzonych własnych badań nad plazmą Chiny są również członkiem międzynarodowego projektu reaktora termojądrowego ITER budowanego w Cadarache we Francji, a także współpracują z General Atomics z Kalifornii, gdzie działa tokamak DIII-D.

## 7.9.

### Produkcja izotopu kobaltu Co-60

Chiny rozpoczęły produkcję radioizotopu kobalt-60 do celów medycznych i przemysłowych wykorzystując do tego celu reaktor energetyczny Candu 6 w EJ Qinshan. Reaktory Candu są wykorzystywane do produkcji tego radioizotopu w EJ Wolsong w Korei Płd., Bruce w Kanadzie i Embalse w Argentynie. Rdzeń reaktora Candu wykonany jest ze stali nierdzewnej zawierającej Co-59, który po pochłonięciu neutronu przechodzi w Co-60. Po 15 miesiącach naświetlania stali zostaje ona wycofywana z rdzenia i poddawana przerobowi w celu ekstrakcji powstałego Co-60. Przewidywana produkcja 220 PBq Co-60 pozwoli zaspokoić 80% potrzeb Chin na ten izotop.

## 7.10.

### Pływające elektrownie jądrowe [10]

W maju 2014 r. China Atomic Energy Authority (CAEA) podpisało porozumienie z rosyjskim koncernem Rosatom o współpracy przy budowie pływających elektrowni



jądrowych przeznaczonych do rozmieszczenia na chińskich przybrzeżnych wyspach. Mają one być budowane w Chinach w oparciu o rosyjską technologię i będą wyposażone prawdopodobnie w reaktory KLT-40S. Strona rosyjska – firma TVEL ma dostarczać również paliwo dla tych elektrowni. W lipcu 2014 r. Rosatom Overseas podpisał podobne porozumienie z CNNC New Energy dotyczące wspólnej budowy pływających elektrowni jądrowych.

Koncern China General Nuclear Power Group (CGN) ogłosił w styczniu 2016 roku projekt budowy demonstracyjnego wielozadaniowego małego reaktora modułowego (SMR) zainstalowanego na jednostce pływającej. Projekt budowy takiego reaktora ACP150S został zaakceptowany przez komisję krajową CNDRC jako część 13 planu pięcioletniego. Obecnie trwają zaawansowane prace projektowe, konstrukcja reaktora ma rozpocząć się w przyszłym roku i zakończyć w roku 2020. Reaktor o mocy 200 MWt (60 MWe) ma produkować prąd elektryczny i ciepło oraz służyć

do odsalania wody. Będzie on wykorzystywany na wyspach oraz przy eksploracji gazu i ropy naftowej na morzu.

CGN poinformował również, że równoległe trwają prace nad reaktorem ACP100, który będzie instalowany na lądzie. Będzie on posiadał moc 450 MWe i jest przewidziany do zasilania w energię elektryczną dużych parków technologicznych lub odległych, niedostępnych miejsc w terenie górzystym. Rozwój reaktorów małej mocy instalowanych na platformach pływających lub w niedostępnym terenie uzupełni ofertę na duże bloki jądrowe i pozwoli zdyspensować opcje energetyczne oferowane przez koncern.

Firma China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) ogłosiła w styczniu 2016 r. zawarcie strategicznej współpracy z koncernem CGN w celu prowadzenia wspólnych badań nad rozwojem technologii jądrowych przewidywanych do użycia na morskich polach wydobywczych ropy naftowej. Zastosowanie pływających elektrowni jądrowych pozwoli zmniejszyć

koszty wydobycia węglowodorów z dna morza oraz budowy niezbędnej infrastruktury technicznej.

Koncern CGN w styczniu 2016 zawarł także porozumienie z największą stocznia chińską China Shipbuilding Industry Corporation (CSIC) w sprawie wspólnej budowy pływających elektrowni jądrowych.

Podobny projekt pływającej elektrowni jądrowej opracował koncern CNNC. Koncepcja bazuje na reaktorze ACP100S o mocy 100 MWe, który jest morską wersją reaktora ACP100. Został on również zaakceptowany przez komisję CNDRC i wpisany do 13 planu pięcioletniego. Budowa demonstratora technologii ma rozpocząć się w roku 2015 i zakończyć w 2019 r.

Oprócz wspomnianego reaktora ACP100S, CNNC opracował również jego mniejsze wersje ACP10S i ACP25S, które mogą być stosowane pojedynczo lub w parach, budując w ten sposób pływającą elektrownię o mocy optymalnej dla danego celu i miejsca przeznaczenia.

6. MYRRHA (Multipurpose Hybrid Research Reactor for High-tech Application) jest projektem budowy wielozadaniowego reaktora badawczego należącego do kategorii reaktorów podkrytycznych pobudzanych akceleratorem (Accelerator Driven System, ADS). Systemy ADS oprócz możliwości generowania energii elektrycznej mogą być wykorzystywane jako wypalacze aktywności czyli do niszczenia (spalania) długożyciowych pierwiastków promieniotwórczych (tzw. pomniejszych aktywności - Pu, Np, Am) występujących w wypalonym paliwie reaktorów energetycznych. Pozwala to zmniejszyć radiotoksyczność, objętość i okres izolacji odpadów promieniotwórczych od otoczenia.

7. Reaktor ten podobny jest konstrukcyjnie do reaktora testowego MSR o mocy 7 MWt, który pracował w laboratorium Oak Ridge w Stanach Zjednoczonych w latach 1965-69

8. Mieszanka stopionych soli (zwykle fluorki

litu, berylu, cyrkonu) jako chłodziwo jest bardziej efektywna do usuwania ciepła z rdzenia reaktora niż sprężony hel, pozwalając tym samym na zmniejszenie rozmiarów rdzenia i redukcję ilości pomp i rurociągów w stosunku do reaktorów z helem jako chłodziwem. na paliwie z U-235 i U-233.

9. Tor wprowadzony do zestawów paliwowych zbudowanych z uranu stanowi materiał paliworodny (podobnie jak U-238). Pod wpływem neutronów z izotopu Th-232 powstaje (w tzw. cyklu torowym) rozszczepialny izotop uranu U-233, który jest źródłem energii. Ponieważ Chiny posiadają większe zasoby toru niż uranu są więc zainteresowane wprowadzeniem paliwa torowego do swoich reaktorów jądrowych.

10. Udziałowcami amerykańskiej firmy TerraPower są m.in. Khosla Ventures, Bill Gates i Charles River Ventures.

11. Reaktor typu SCWR należy do reaktorów IV Gen. (GIF). Wykorzystuje wodę w stanie

nadkrytycznym (odnośnie do punktu krytycznego wody – 3740C i 22 MPa, a nie krytycznej masy paliwa nuklearnego) jako moderatora neutronów oraz chłodziwa. SCWR przypomina reaktor lekkowodny (LWR), ale panuje w nim wyższe ciśnienie i temperatura, posiada przy tym bezpośredni obieg pierwotny podobnie jak reaktor wodny wrzący (BWR). Woda jest zawsze w stanie gazowym. Reaktory typu SCWR jako systemy nuklearne są obiecujące ze względu na ich wysoką sprawność cieplną (~45% w stosunku do ~33% dla obecnie stosowanych LWR) i prostszą budowę.

12. Tydzień wcześniej naukowcy niemieccy za pomocą stellatora Wendelstein 7-X w Max-Planck Instytut for Plasma Physics (IPP) uzyskali plazmę o wyższej temperaturze 80 mln OC lecz utrzymali ją jedynie przez ¼ sekundy.

## 8.

# Ochrona obiektów jądrowych i postępowanie w przypadku awarii

Realizując wnioski z awarii w Fukushimie większość państw wzmocniła swoje zdolności reagowania kryzysowego. Także w Chinach, w celu zwiększenia zdolności do zwalczania skutków awarii jądrowych, w roku 2014 utworzono krajowy zespół awaryjny do działania w przypadku wystąpienia awarii w elektrowni jądrowej. Ma on wspierać 16 istniejących obecnie lokalnych zespołów awaryjnych występujących na szczeblu prowincji i w każdej elektrowni.

Krajowy zespół został utworzony przez State Administration of Science, Technology and Industry

for National Defence (SASTIND) oraz Sztab Generalny chińskich Sił Zbrojnych (PLA). Zespół liczy 300 osób i ma realizować zadania wspierające operatorów obiektów jądrowych takie jak zabezpieczanie źródeł promieniowania, poszukiwanie i uwalnianie ludzi uwięzionych w wyniku katastrofy, ograniczanie rozprzestrzeniania się skażeń oraz minimalizacja wszelkich innych szkód. W czerwcu 2015 r. przeprowadzono krajowe ćwiczenia reagowania kryzysowego. „Shield 2015”, w których po raz pierwszy zespół ten brał udział. Tematem ćwiczenia był symulowany wypa-

dek podczas przetadunku paliwa w jednym z obiektów jądrowych zlokalizowanych w prowincji Guandong.

Użycie krajowego zespołu awaryjnego przewidywane jest w przypadku dużych awarii, gdy ich skala i wynikię zagrożenie przekraczają możliwości reagowania na szczeblu prowincji. Na wypadek konieczności niesienia pomocy rząd na szczeblu krajowym dysponuje również czterema centrami wsparcia technicznego i sześcioma małymi zespołami ratunkowymi.

## 9. Zagadnienia nieproliferycyjne

Chiny są jednym z 5 państw nuklearnych (NWS) w rozumieniu Układu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej (NPT). Państwo to w 1989 r. podpisało z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA) Porozumienie o Systemie Zabezpieczeń NPT (safeguards) i przystąpiło do Układu NPT w 1992 r. W 2002 r. został podpisany Protokół Dodatkowy do Systemu Zabezpieczeń. W maju 2004 roku Chiny przystąpiły do Grupy Dostawców Jądrowych (NSG).

Possiadają broń jądrową (ok. 260 ładunków) rozmieszczoną na lądzie, morzu i w powietrzu (tzw. triada jądrowa). Dokonały pierwszej eksplozji ładunku jądrowego w roku 1964. W latach 1964-1996 prowadziły intensywne testy swojego arsenału nuklearnego. Podpisały w roku 1996 Traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) ale go dotąd jeszcze nie ratyfikowały.

Chiny rozpoczęły badania nad bronią jądrową już w latach 50. przy znacznej pomocy ZSRR w postaci doradztwa technicznego, sprzętu i ekspertów w dziedzinie energetyki jądrowej. W dniu 15 października 1957 r. ZSRR i Chiny podpisały porozumienie o współpracy w dziedzinie nowej technologii obrony. W ramach tego porozumienia ZSRR zgodził się dostarczyć Chinom elementy ładunku jądrowego i dane techniczne, na podstawie których Chiny mogły samodzielnie skonstruować ładunek jądrowy.

Pomimo ochłodzenia relacji na linii Moskwa – Pekin na początku lat 60. i zakończenia radzieckiej pomocy, Chiny kontynuowały prace nad bronią jądrową. Pierwszy test jądrowy przeprowadzono 16 października 1964 r. (projekt „596”) - był to ładunek o mocy 12-22 kT. Jako materiału jądrowego użyto wzbogaconego uranu wyprodukowanego metodą dyfuzji gazowej w zakładach Lanzhou. Pierwszego testu broni termojądrowej dokonano 17 czerwca 1967 r. Testy jądrowe kontynuowano do 1996 r. (w sumie 45, ostatni w dniu 29 lipca 1996 r.) aż do podpisania Traktatu CTBT.

Chiny przystąpiły do Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) w roku 1984 lecz w latach 80. i na początku lat 90. dostarczały technologie jądrowe i reaktory do kilku państw, które budziły wątpliwości co do pokojowych celów ich programów jądrowych. Chiny są postrzegane jako dostawca projektów technicznych (konkretnych planów budowy) ładunków jądrowych oraz materiału rozszczepialnego niezbędnych do rozwoju programu broni jądrowej Pakistanu, które zostały następnie przekazane do Libii.

Członkostwo Chin w grupie NSG powoduje, że kwestionowane są ostatnie kontrakty Chin na budowę reaktorów w Pakistanie, na który nałożone zostało embargo związane z jego programem broni jądrowej. Kontrakt na budowę reaktorów Chashma 1 i 2 podpisano w 1990 r. i 2000 r. jeszcze przed przystąpieniem Chin do NSG, natomiast

na bloki Chashma 3 i 4 w roku 2008. Chiny utrzymują, że ostatni kontrakt jest przedłużeniem tych poprzednich (z lat 1990 i 2000). Nie ma natomiast wytłumaczenia na złamanie zasad NSG przez podpisanie w roku 2013 umowy na budowę 2 reaktorów w technologii Hualong One w EJ Karachi.

Chiny posiadają wzajemne porozumienia o wykorzystywaniu materiałów jądrowych wyłącznie dla celów pokojowych (safeguards) z Australią, Kanadą, USA, Niemcami i Francją. Także wszystkie importowane elektrownie jądrowe z Francji, Kanady i Rosji znajdują się na wykazie obiektów chronionych przez system zabezpieczeń MAEA.

W marcu 2016 roku Chiny otworzyły pod Pekinem centrum doskonalenia dla ekspertów z dziedziny ochrony obiektów i materiałów jądrowych Chinese Center of Excellence on Nuclear Security. Zostało ono utworzone wspólnie ze Stanami Zjednoczonymi i ma pełnić rolę ośrodka szkoleniowego oraz badawczego przeznaczonego dla wzmacniania zdolności do zapobiegania proliferacji i zwalczania terroryzmu jądrowego. W ramach podpisanego porozumienia Stany Zjednoczone zapewnią szkolenie i technologie niezbędne do wykrywania nielegalnego obrotu materiałami jądrowymi, które mogą zostać użyte do skrytej budowy improwizowanych ładunków jądrowych lub broni radiacyjnej (brudnej bomby). Szkoleniem objęci zostaną eksperci z Chin oraz innych państw regionu.

## 10.

# Wykaz organizacji i podmiotów zaangażowanych w program jądrowy Chin

ASIPP - Institute of Plasma Physics CAS  
BNF - Baotou Nuclear Fuel Co Ltd  
CAEA - China Atomic Energy Authority  
CARR - China Advanced Research Reactor  
CAS - China Academy of Sciences  
CDFR - Chinese Demonstration Fast Reactor  
CEFR - Chinese Experimental Fast Reactor  
CFHI - China First Heavy Industries  
CGN - China General Nuclear Power Group  
CGN-URC - China Guangdong Nuclear Uranium Resources Co Ltd  
CHG - China Huaneng Group  
China Haiyan Nuclear Power City  
CIEA - China Institute of Atomic Energy  
CLEAR - China LEad Alloy Reactor  
CNEC - China Nuclear Engineering & Construction Group  
CNNC - China National Nuclear Corporation  
CNNFC - China North Nuclear Fuel Co Ltd  
CNNSA - China's National Nuclear Safety Administration  
CNOOC - China National Offshore Oil Corporation  
CNUC - China Nuclear Uranium Corporation  
CPI - China Power Investment Corporation  
CSG - China Southern Power Grid Co  
CSIC - China Shipbuilding Industry Corporation  
Daying Industrial Park  
Hualong International Nuclear Power Technology Co  
INET - Institute of Nuclear Energy Technology  
JNF - China Jianzhong Nuclear Fuel  
Jiuquan Atomic Energy Complex  
LNPIC - Leshan Nuclear Power Institute of China  
LTC - Longrui Technology Company  
Nanjing Jiangning Binjiang Development Zone  
NDRC - National Development and Reform Commission  
NPIC - Nuclear Power Institute of China  
Sanming Nuclear Power Co Ltd  
SASTIND - State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence  
SGCC - State Grid Corporation of China  
SINAP - Shanghai Institute of Nuclear Applied Physics  
SinoU - China Nuclear International Uranium Corporation

# Źródła

## **Program Jądrowy w Republice Korei**

- [1] Nuclear Power in South Korea, WNA, June 2016
- [2] World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, WNA, May 2016
- [3] David Adam Stott, South Korea's Global Nuclear Ambitions, The Asia-Pacific Journal, March 22, 2010;
- [4] Stonehenge Metals Independent Geologists' Report on the Daejon, Miwon and Gwesan Projects, South Korea, November 2015
- [5] Mary Beth D. Nikitin, U.S.-Republic of Korea Nuclear Cooperation Agreement, CRS Insights, June 30, 2015
- [6] USA and South Korea update cooperation deal, WNN, 16 June 2015
- [7] Indictments for South Korea forgery scandal, WNN, 10 October 2013
- [8] Choe Sang-Hun, Scandal in South Korea Over Nuclear Revelations, NYT, August 3, 2013
- [9] Senior politician calls for S. Korea to have nuclear weapons, Yonhap, Jan. 31 2016
- [10] South Korea Overview, NTI, April, 2016
- [11] Choe Sang-Hun, "After Tests in the North, Conservatives in South Korea Call for a Nuclear Program," New York Times, February 19, 2016

## **Program Jądrowy w Chinach**

- [1] Country profile: Nuclear Power in China, WNA, May 2016
- [2] S. Kidd, China's nuclear programme - how serious are the delays?, Nuclear Engineering International, 24 March 2015
- [3] China looks to export markets, Nuclear Engineering International, 17 November 2015
- [4] Uranium 2014: Resources, Production and Demand, OECD/NEA-IAEA
- [5] World Uranium Mining Production, WNA, May 2016
- [6] H. Zhang, China's Access to Uranium Resources, Harvard Kennedy School, May 2015
- [7] Country profile: Nuclear Fuel Cycle in China, WNA, May 2016
- [8] H. Zhang, China's Uranium Enrichment Capacity, Harvard Kennedy School, August 2015
- [9] Chinese reprocessing plant to start up in 2030, WNN, 24 September 2015
- [10] M. Forsythe, China to Develop Floating Nuclear Power Plants, NYT, April 22, 2016







MINISTERSTWO ENERGII

