

# ENERGETYKA JĄDROWA ...PO CHIŃSKU

## *Nuclear power ... in Chinese*

Piotr Leśny

**Streszczenie:** Chiński program budowy elektrowni jądrowych jest jednym z najszybciej rozwijających się programów jądrowych na świecie. Jedną z największych gospodarek globu potrzebuje dużych ilości energii elektrycznej, której produkcja nie wiąże się z emisją zanieczyszczeń. Dotyczy to przede wszystkim najbardziej uprzemysłowionych regionów Chin ze szczególnym uwzględnieniem terenów nadmorskich np. aglomeracja Szanghaju. Poniższe opracowanie przybliży chiński program jądrowy. Opisuje też, jak Chinom udaje się budować reaktory jądrowe w wyjątkowo szybkim tempie. Autor koncentruje się na wyjątkowej wadze jaką ma dla bezpieczeństwa dotrzymywanie harmonogramu prac i brak opóźnień przy budowie reaktorów jądrowych. Przybliżone zostają również Czytelnikom projekty tych reaktorów energetycznych, które stanowią produkt eksportowy Chin i mogą wzbudzać zainteresowanie jeżeli chodzi o Program Polskiej Energetyki Jądrowej. Artykuł opisuje również SNERDI chiński instytut badawczy i projektowy zaangażowany w projektowanie najbardziej zaawansowanych reaktorów jądrowych.

**Abstract:** China's nuclear power plant program is one of the fastest-growing nuclear programs in the world. One of the world's largest economies needs large amounts of electricity, the production of which is not associated with emissions. This applies above all to the most industrialized regions of China with particular emphasis on coastal areas, e.g. the agglomeration of Shanghai. The following study introduces the Chinese nuclear program. He also describes how China manages to build a nuclear reactor at an extremely fast pace. The author focuses on the extraordinary importance of safety in keeping to the work schedule and barracks of delays in the construction of nuclear reactors. Readers are also familiarized with the designs of these energy reactors, which are an export product of China and may arouse interest when it comes to the Polish Nuclear Energy Program. The article also describes SNERDI, a Chinese research and design institute involved in the design of the most advanced nuclear reactors.

**Keywords:** China, the pace of construction of nuclear power plants, nuclear block project, CAP 1000, CAP1400, Hualong One, SNERDI.

**Słowa kluczowe:** Chiny, tempo budowy elektrowni jądrowych, projekt bloku jądrowego, CAP 1000, CAP1400, Hualong One, SNERDI.

### Wstęp

Stare chińskie przysłowie mówi ...tak powinienem chyba rozpocząć artykuł, który będzie siłą rzeczy tylko impresją dotyczącą chińskiej energetyki jądrowej. Dlaczego impresją? Z jednego ważnego powodu: mała ilość źródeł i opracowań – zwłaszcza w języku polskim, które dotyczą tego zagadnienia. Drugą przyczyną jest równie istotna – materiały dotyczące Chin i ich przemysłu ze szczególnym uwzględnieniem wysokich technologii starzeją się w tempie błyskawicznym. Mówiąc nieco złośliwie: Chińczycy po prostu budują nieco szybciej swoje instalacje, niż powstają nowe opracowania dotyczące tego zagadnienia. (To trochę kamyk do mojego własnego ogródka: od roku przymierzałem się do napisania artykułu o chińskim programie jądrowym w tym czasie w Chinach rozpoczęło pracę pięć bloków jądrowych Sanmen-2, Tianwen-4, Haiyang-2, Yangjiang-6 oraz Taishen-2). Dlatego jako motto mego opracowania wybrałem nie starochińskie przysłowie, tylko chiński paradoks pochodzący jeszcze z księgi I-cing:

**„Przemiana jest czymś stałym.”**

W momencie ukazania się tego artykułu – mam takie wrażenie, że będzie on wymagał aktualizacji. Opo-

wiem prawdziwą anegdotę: kiedy leciałem do Szanghaju, wziąłem mapę tamtejszego metra z kilkunastoma liniami. Jak znalazłem się na miejscu, okazało się, że wymaga aktualizacji: właśnie zbudowano kolejną linię. Zmiana jest czymś, czego zawsze należy spodziewać się w Chinach. Choć może do współczesnej chińskiej ultranowoczesnej energetyki jądrowej pasowałoby bardziej powiedzenie Steve'a Jobsa: **„Jeżeli ktoś Ciebie wyprzedził – przeskocz go”**.

Chiński program jądrowy i to w jego formie najbardziej zaawansowanej miałem okazję poznać podczas spotkania eksperckiego w Chinach. Technical Meeting on Challenges and Opportunities in the Construction Management of Advanced Nuclear Power Plants, które odbyło się w sierpniu 2018 r. w Szanghaju.

Moim głównym celem podczas spotkania było zapoznanie się ze zarządzaniem projektami i metodami kontroli zarządzania projektami najbardziej zaawansowanych elektrowni jądrowych. Ponadto omawiane były takie istotne z punktu widzenia dozoru jądrowego zagadnienia jak ocena charakterystycznych dla konkretnych lokalizacji projektów budowlanych i inżynierskich, kontrola podwykonawców i dostawców w zakresie zarządzania konfiguracją projektu (między innymi

zachowanie spójności projektowej i bezpieczeństwa projektu), zapewnienie bezpieczeństwa środowiska pracy i metody kontroli najbardziej wykwalifikowanego personelu EJ i wiele innych zagadnień. Z punktu widzenia dozoru jądowego najważniejsza była kwestia zapewnienia bezpieczeństwa jądowego najbardziej zaawansowanym projektom obiektów jądowych. W Chinach budowane są teraz najbardziej zaawansowane i nowoczesne modele EJ i obiektów jądowych. Co istotne w związku z olbrzymią różnorodnością budowanych tam konstrukcji spotkanie stanowiło ogromną szansę na zapoznanie się z unikalnym w świecie spektrum informacji oraz praktycznych umiejętności dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa jądowego zarządzania budową, ciągłością projektu oraz konfiguracją obiektów jądowych. Spotkanie stanowiło unikalną możliwość doskonalenia umiejętności inspektora dozoru w nadzorze i kontroli w tych wyjątkowo istotnych dla bezpieczeństwa jądowego zagadnieniach. Niestety w artykule nie mogę z wielu względów posłużyć się wieloma uzyskanymi tam materiałami. Wiedza dotycząca projektowania 3d, szkolenia lub pracy z użyciem wirtualnej rzeczywistości czy najnowszych programów komputerowych stosowanych w chińskiej energetyce jądowej jest fascynująca – szczegóły jednak nie mogą niestety być, choćby ze względów bezpieczeństwa powszechnie dostępne. Dlatego w niniejszym opracowaniu cytuję i przedstawiam bezpośrednio źródła tylko i wyłącznie ogólnodostępne.

Przyczyny gwałtownego rozwoju chińskiej energetyki jądowej. To zdjęcie może wystarczyć za wszystkie wyjaśnienia.



**Fot. 1.** Widok na współczesny Szanghaj (fot. Piotr Leśny). Zwraca uwagę na pierwszym planie wieża telewizyjna Oriental Pearl – 468 metrów wysokości i budynek Shanghai Tower mierzący 632 metry

**Photo 1.** View of modern Shanghai (authors photo). In the foreground, the Oriental Pearl TV Tower is highlighted - 468 meters high and the Shanghai Tower building measuring 632 meters (authors photo Piotr Leśny)

Gwałtowny rozwój Chin (przemysłowy, gospodarczy itd. można wstawić dowolny przymiotnik) spowodował również gwałtowne zapotrzebowanie na energię. Nie będę tu się zagłębiał w statystyki, ale zamieszczony na fotografii wyżej widok szanghajskiego „Manhattanu” mówi sam za siebie. Trzydzieści lat temu te budynki nie istniały (Shanghai Tower ukończono 4 lata temu). Tak jak te rozświetlone ulice:



**Fot. 2.** Ulica w Szanghaju (fot. Piotr Leśny)

**Photo 2.** Street in Shanghai (authors photo Piotr Leśny)

Teraz parę liczb. Miasto Szanghaj liczy ponad 24 mln mieszkańców, jako metropolia 34 mln – czyli nie wiele mniej niż cała Polska. To największe miasto w Chinach. W całym Państwie Środka żyje prawie półtora mld ludzi (dokładniej 1 mld 400 mln według Międzynarodowego Funduszu Walutowego). Chiny są w tej chwili jedną z największych gospodarek świata (według różnych rankingów pierwszą albo drugą zależy, jak się liczy).



**Fot. 3.** Wielopiętrowy dom towarowy w Szanghaju (fot. Piotr Leśny)

**Photo 3.** A multi-story department store in Shanghai (authors photo Piotr Leśny)

Ponadto w związku z tym, że energetyka chińska opiera się na paliwach kopalnych (73% według World Nuclear Association) zanieczyszczenie powietrza jest sprawą wyjątkowo istotną, jeżeli chodzi o decyzję o budowie nowych bloków jądowych. Tu dodajmy, że poza zanieczyszczeniami przemysłowymi Chiny od wieków zmagają się z burzami piaskowymi i pyłowymi z pustyni Azji Centralnej. W związku z tym każda energetyka, która nie dorzuca nic do zapylenia powietrza, jest w Państwie Środka czymś bardzo pożądanym. Olbrzymie elektrownie wodne na Rzece Żółtej i elektrownie wiatrowe (4% produkcji energii) dopełniają energetycznego miksu Państwa Środka. Jednakże znajdują się one w pewnym oddaleniu od najważniejszych ośrodków handlowych i przemysłowych Chin takich jak Szanghaj (jeden z największych portów świata) mieszczących się nad morzem. Tamtejszy przemysł by mógł sprzedawać na cały świat swoje produkty potrzebuje dużo taniej energii.

## Chińskie reaktory jądrowe

Chiny rozpoczęły przygodę z energią jądrową, bardzo niedawno, na przełomie lat 80. i 90. XX wieku, wraz z wprowadzeniem do eksploatacji reaktorów Dajabay 1 i 2 oraz Qinshan.

Chiński przemysł jądrowy poczynił w ostatniej dekadzie ogromny postęp, którego celem jest uzyskanie całkowitej samodzielności we wszystkich technologiach jądrowych.

### Czas budowy bloku jądrowego w Chinach

Chińczycy budują bardzo szybko elektrownie jądrowe. Weźmy na przykład Taishan 2 od rozpoczęcia budowy w 2010 r. do rozpoczęcia pracy tego bloku minęło 10 lat. Identycznie jak w przypadku jego bliźniaka Taishan 1. Są to reaktory typu PWR model EPR 1750 o mocy nominalnej 1750 MWe. Reaktor EPR jest reaktorem trzeciej generacji francuskiej firmy Areva i jednym z potencjalnych kandydatów do budowy w ramach Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Poza Chinami zarówno we Finlandii, czyli Olkiluoto (budowa trwa już 15 lat), jak i we Francji, czyli Flamanville (budowa trwa już 13 lat) budowa EPR ma duże opóźnienia. Budowa Yangjiang-6 trwała natomiast 6 lat – reaktor typu ACPR 1000. Ta szybkość nie dotyczy tylko budowy reaktorów – chiński zakład produkujący sterownię dla bloków jądrowych w ciągu 10 lat od stanu „zielonej trawy”, na której go stawiano, przeszedł drogę przez budowę produkowanych na licencji sterowni do produkcji własnych udoskonalonych modeli. Taka szybkość może niepokoić ze względu na przykład na jakość czy bezpieczeństwo jednakże... Po pierwsze dzięki nieprzekraczaniu planów budżetowych budowa reaktorów jądrowych kosztuje Chińczyków znacznie mniejsze pieniądze (zob. casus Olkiluoto gdzie projekt przekroczył koszty co najmniej dwukrotnie niż planowano). Anegdota: gdy rozmawiałem o przekraczaniu terminów budowy na europejskich budowach z chińskimi kolegami to jeden z nich z niedowierzaniem spytał: „To nikogo za to nie ukarano?”. Jak w Chinach potraktowano by takie, nazwijmy błędy-zostawiam domyślności Czytelnika. Chyba odniesiono by się do nich raczej surowo nieprawdaż? Chińczycy (podobnie jak Koreańczycy) podchodzą bardzo poważnie do przygotowania i jakości projektu.

Właściwie przygotowany projekt musi się odznaczać:

- a. odpowiednią jakością. W energetyce jądrowej jakość to bezpieczeństwo. Jeżeli projekt jest właściwie przygotowany i dopracowany, nie wymaga większej liczby zmian, a co za tym idzie, braki w projekcie nie powodują opóźnień i zmian w harmonogramie prac.
- b. odpowiednią szczegółowością. Nie może w nim zabraknąć żadnego wymaganego ze względów bezpieczeństwa elementu. Już trochę pro domo sua: zdaniem chińskiego wykładowcy „dobrze przygotowany projekt obroni was przed dozorem jądrowym, uchroni przed opóźnieniami lub po prostu nie przyznaniem zezwolenia”. Chiński dozór jądrowy NNSA (The Natio-

nal Nuclear Safety Administration) jest znany ze swoich surowych wymagań i autorytetu. W sprawach dotyczących np. bezpieczeństwa reaktorów AP 1000 ściśle współpracuje z amerykańskim dozorem jądrowym American Nuclear Corporation – NRC.

- c. przejrzystością zawartych informacji. Inaczej mówiąc, informacja musi być łatwo dostępna. Osoba, która korzysta z informacji projektowej, musi łatwo i szybko do niej dotrzeć. Mówiąc kolokwialnie: nie przebijając się przez góry papieru. Osiąga się to poprzez stosowanie projektów 3d, odpowiednich programów komputerowych, urządzeń elektronicznych etc. Kluczem jest unikanie produkcji nadmiernej ilości dokumentacji papierowej. Ma to znaczenie przy samej budowie: przykładowo pracownik wykonujący pracę ma przesyłane potrzebne informacje do gogli elektronicznych, które wyświetlają mu potrzebne w danym momencie instrukcje lub polecenia przełożonego. Ma to również znaczenie przy kontroli dokumentacji: weryfikując projekt znacznie łatwiej i co istotne skuteczniej sprawdzić projekt za pomocą technik komputerowych jak weryfikując treść całej biblioteki dokumentacji. Co najważniejsze szybko i efektywnie wyłapuje się ewentualne błędy i niezgodności podczas prac budowlanych.

Nie chodzi tylko i wyłącznie o pieniądze. Brak opóźnień zwiększa bezpieczeństwo konstrukcji:

- a. Unika się starzenia i zmniejszenia wytrzymałości materiałów. Jeżeli prace budowlane trwają całe lata, to starzeją się materiały typu polimerowego np. izolacja kabli, materiały budowlane i konstrukcyjne. Przykładowo w Stanach Zjednoczonych, gdy jeden z reaktorów po zakonserwowaniu w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku postanowiono uruchomić, to wymagał wymiany dużej części opórządzenia np. kabli i przewodów.
- b. Unika się problemów związanych z korozją. Plac budowy może nie być zbyt przyjaznym środowiskiem dla metalowych urządzeń reaktora. Komponenty, które długo nie były używane i przez długi okres czekały bezczynnie, wymagają niekiedy dodatkowych prac antykorozyjnych.

Następna sprawa – im dłuższa budowa, tym większe zmiany zachodzą w jej otoczeniu. W szerokim znaczeniu tego słowa.

- a. Zmieniają się normy i standardy dotyczące jakości, a co za tym idzie, zmieniają wymagania. Powoduje to błędne koło: opóźnienie projektu powoduje kolejne opóźnienie projektu.
- b. Zmieniają się materiały i technologie, a co za tym idzie także dostępność wcześniej stosowanych. Zauważam, że to, co starsze nie oznacza gorsze – ale fachowcy, którzy umieli się posługiwać starszymi technikami, powoli się wykruszają, a młodsze pokolenie nie koniecznie może im dorównać.

Dlatego tak ważne jest trzymanie się harmonogramu i dopilnowanie jakości projektu.

### Technologie jądrowe

Chiny importowały technologię jądrową z kilku krajów przede wszystkim z Rosji (wcześniej Związku Radzieckiego), Francji, Kanady i Stanów Zjednoczonych. Po imporcie rozwijały technologie, tworząc własne projekty. Przykładowo w samym SNERDI (Shanghai Nuclear Energy Research and Development Institut) nad pracami badawczymi dotyczącymi energetyki jądrowej pracuje prawie półtora tysiąca specjalistów.

### Aktualny stan chińskiej energetyki jądrowej (05.11.2019)

W tej chwili pracuje w Chinach 48 bloków jądrowych i budowanych jest kolejnych 9. Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA PRIS) aktualny stan wygląda następująco:

Reactors Name/ Nazwa reaktora	Type/ Typ	Status/ Status	Location/ Lokalizacja	Reference Unit Power [MW] /Moc referencyjna [MW]	Gross Electrical Capacity [MW] / Moc elektryczna brutto [MW]	First Grid Connection / Pierwsze przyłączenie
<a href="#">CEFR</a>	FBR	Operational	Tuoli	20	25	
<a href="#">CHANGJIANG-1</a>	PWR	Operational	Changjiang	601	650	
<a href="#">CHANGJIANG-2</a>	PWR	Operational	Changjiang	601	650	
<a href="#">DAYA BAY-1</a>	PWR	Operational	SHENZHEN CITY	944	984	
<a href="#">DAYA BAY-2</a>	PWR	Operational	SHENZHEN CITY	944	984	
<a href="#">FANGCHENGGANG-1</a>	PWR	Operational	Fangchenggang	1000	1086	
<a href="#">FANGCHENGGANG-2</a>	PWR	Operational	Fangchenggang	1000	1086	
<a href="#">FANGCHENGGANG-3</a>	PWR	Under Construction	Fangchenggang	1000		
<a href="#">FANGCHENGGANG-4</a>	PWR	Under Construction	Fangchenggang	1000		
<a href="#">FANGJIASHAN-1</a>	PWR	Operational	Jiaying	1012	1089	
<a href="#">FANGJIASHAN-2</a>	PWR	Operational	Jiaying	1012	1089	
<a href="#">FUQING-1</a>	PWR	Operational	Fuqing	1000	1089	
<a href="#">FUQING-2</a>	PWR	Operational	Fuqing	1000	1089	
<a href="#">FUQING-3</a>	PWR	Operational	Fuqing	1000	1089	
<a href="#">FUQING-4</a>	PWR	Operational	Fuqing	1000	1089	
<a href="#">FUQING-5</a>	PWR	Under Construction	Fuqing	1000		
<a href="#">FUQING-6</a>	PWR	Under Construction	Fuqing	1000		
<a href="#">HAIYANG-1</a>	PWR	Operational	Haiyang	1170	1250	
<a href="#">HAIYANG-2</a>	PWR	Operational	Haiyang	1170	1250	
<a href="#">HONGYANHE-1</a>	PWR	Operational	DALIAN	1061	1119	
<a href="#">HONGYANHE-2</a>	PWR	Operational	DALIAN	1061	1119	
<a href="#">HONGYANHE-3</a>	PWR	Operational	DALIAN	1061	1119	
<a href="#">HONGYANHE-4</a>	PWR	Operational	DALIAN	1061	1119	
<a href="#">HONGYANHE-5</a>	PWR	Under Construction	DALIAN	1000		
<a href="#">HONGYANHE-6</a>	PWR	Under Construction	DALIAN	1000	1119	

Reactors Name/ Nazwa reaktora	Type/ Typ	Status/ Status	Location/ Lokalizacja	Reference Unit Power [MW] /Moc referencyjna [MW]	Gross Electrical Capacity [MW] / Moc elektryczna brutto [MW]	First Grid Connection / Pierwsze przyłączenie
<a href="#">LING AO-1</a>	PWR	Operational	SHENZEN	950	990	
<a href="#">LING AO-2</a>	PWR	Operational	SHENZEN	950	990	
<a href="#">LING AO-3</a>	PWR	Operational	SHENZEN	1007	1086	
<a href="#">LING AO-4</a>	PWR	Operational	SHENZEN	1007	1086	
<a href="#">NINGDE-1</a>	PWR	Operational	Ningde	1018	1089	
<a href="#">NINGDE-2</a>	PWR	Operational	Ningde	1018	1089	
<a href="#">NINGDE-3</a>	PWR	Operational	Ningde	1018	1089	
<a href="#">NINGDE-4</a>	PWR	Operational	Ningde	1018	1089	
<a href="#">QINSHAN 2-1</a>	PWR	Operational	Jiaxing	610	650	
<a href="#">QINSHAN 2-2</a>	PWR	Operational	Jiaxing	610	650	
<a href="#">QINSHAN 2-3</a>	PWR	Operational	Jiaxing	619	660	
<a href="#">QINSHAN 2-4</a>	PWR	Operational	Jiaxing	619	660	
<a href="#">QINSHAN 3-1</a>	PHWR	Operational	Jiaxing	677	728	
<a href="#">QINSHAN 3-2</a>	PHWR	Operational	Jiaxing	677	728	
<a href="#">QINSHAN-1</a>	PWR	Operational	Jiaxing	298	330	
<a href="#">SANMEN-1</a>	PWR	Operational	Taizhou	1157	1251	
<a href="#">SANMEN-2</a>	PWR	Operational	Taizhou	1157	1251	
<a href="#">SHIDAO BAY-1</a>	HTGR	Under Construction	Weihai	200		
<a href="#">TAISHAN-1</a>	PWR	Operational	Taishan	1660	1750	
<a href="#">TAISHAN-2</a>	PWR	Operational	Taishan	1660	1750	
<a href="#">TIANWAN-1</a>	PWR	Operational	Lianyungang	990	1060	
<a href="#">TIANWAN-2</a>	PWR	Operational	Lianyungang	990	1060	
<a href="#">TIANWAN-3</a>	PWR	Operational	Lianyungang	1045	1126	
<a href="#">TIANWAN-4</a>	PWR	Operational	Lianyungang	1045	1126	
<a href="#">TIANWAN-5</a>	PWR	Under Construction	Lianyungang	1000		
<a href="#">TIANWAN-6</a>	PWR	Under Construction	Lianyungang	1000		
<a href="#">YANGJIANG-1</a>	PWR	Operational	Yangjiang	1000	1086	
<a href="#">YANGJIANG-2</a>	PWR	Operational	Yangjiang	1000	1086	
<a href="#">YANGJIANG-3</a>	PWR	Operational	Yangjiang	1000	1086	
<a href="#">YANGJIANG-4</a>	PWR	Operational	Yangjiang	1000	1086	
<a href="#">YANGJIANG-5</a>	PWR	Operational	Yangjiang	1000	1086	
<a href="#">YANGJIANG-6</a>	PWR	Operational	Yangjiang	1000	1086	2019-06-29

Według World Nuclear Association w październiku tego roku pracowało 45 bloków i 15 było w budowie. Ponadto jest jeszcze pewna liczba bloków tuż przed rozpoczęciem budowy. Trudno to oszacować ze względu na tempo, w jakim rozwija się w Państwie Środka program jądrowy.



## Hualong 1

Tu zacytuje serwis informacyjny CIRE artykuł „Zakończono testy paliwa dla chińskich reaktorów Hualong One” z dnia 22.03.2019 r. „Reaktor Hualong One (Hualong Pressurised Reactor – HPR1000) jest reaktorem wodnym ciśnieniowym (PWR) chińskiej konstrukcji o mocy 1150 MWe. Powstał on ze scalenia dwóch konstrukcji reaktorów: ACP1000 koncernu CNNC i ACPR1000 koncernu CGN w jeden standardowy model Hualong One. Spełnia on standardy bezpieczeństwa ustanowione przez MAEA i przyjęto go do szerokiego zastosowania w kraju oraz na eksport. W Chinach budowane są obecnie cztery jednostki Hualong One. CNNC buduje dwa bloki HPR1000 w elektrowni jądrowej Fuqing. Wylewanie pierwszego betonu w bloku 5 rozpoczęto 7 maja 2015 r. i 22 grudnia 2015 r. w bloku 6. Mają one zostać uruchomione po czterech latach budowy, odpowiednio w 2019 i 2020 r. CGN buduje dwa takie reaktory w elektrowni jądrowej Fangchenggang-3 i 4 w Regionie Autonomicznym Guangxi. Ich konstrukcja rozpoczęła się 24 grudnia 2015 r. i 23 grudnia 2016 r., a pracę komercyjną mają rozpocząć także w latach 2019-2020. Hualong One promowany jest na rynku międzynarodowym i dwa reaktory HPR1000 od roku 2015 znajdują się w budowie w pakistańskiej elektrowni jądrowej Karachi. Mają one zostać uruchomione w roku 2021 i 2022.

W październiku 2015 r. CGN zaproponował koncernowi EDF zastosowanie technologii Hualong One przy budowie elektrowni jądrowej Bradwell B w Wielkiej Brytanii. Projekt UK HPR1000 przechodzi obecnie proces ogólnej oceny (Generic Design Assessment – GDA) przez brytyjski urząd regulacji jądrowych (Office for Nuclear Regulation – ONR) oraz agencję ochrony środowiska (Environment Agency – EA). W listopadzie 2015 r. Chiny zawarły porozumienie z Argentyną w sprawie budowy na jej terytorium reaktorów tego typu.” Koniec cytatu. Poniżej fotografia Hualong One z Global Construction Review.



**Fot. 4.** EJ w Pakistanie. Nałożenie kopuły obudowy bezpieczeństwa (fot.GCR)  
**Photo 4.** China Tops out Hualong One nuclear plant in Pakistan (By GCR Staff)

Zdjęcie przedstawia zamknięcie obudowy reaktora Karachi 2 kopułą. Wykonano to zgodnie z założonym harmonogramem. Jeszcze pare dodatkowych informacji o Hualong One zwanego również HPR 1000. Rdzeń reaktora załadowany jest 177 zestawami paliwowymi o długości 3,66 m, okres do refueling wynosi 18-24 miesiące, wzbogacenie 4,45%. Trzy obiegi chłodzenia, podwójna obudowa bezpieczeństwa, aktywne systemy bezpieczeństwa z elementami pasywnymi, przewidywany czas pracy 60 lat. Systemy pasywne zdolne do pracy przez 72 godziny przy odpowiednim poziomie wody i załadowanych akumulatorach. Między poszczególnymi wersjami występują nieznaczne różnice dotyczące np. ilości aktywnych systemów bezpieczeństwa. System kontroli Areva-Siemens. To informacje z World Nuclear Association. Generalnie chińska firma CNNC rozwijała amerykański model AP 1000, a firma CGN wcześniejsze modele oparte na francuskiej technologii. Jest to więc dość ciekawe połączenie kilku technologii w jedną oferowaną przez dwie chińskie firmy zagranicznym klientom. Co ciekawe potencjalnymi klientami przy tym reaktorze są również kraje Europy Wschodniej.

## CAP 1000 /CAP 1400

Kolejnym ciekawym chińskim reaktorem jest CAP 1000. Jest to właściwie dostosowanie AP 1000 do lokalnych standardów. Chińskie modyfikacje dotyczyły obniżenia kosztów, usprawnienia pracy i obsługi. Dostosowano amerykański projekt do wymagań chińskiej normy projektowej i dodano ulepszenia wymagane po Fukushima przez międzynarodowe standardy bezpieczeństwa. Model CAP 1400 stanowi rozwinięcie CAP 1000. Różnica to przede wszystkim zwiększenie mocy do 1400 MWe. CAP 1400 jest kolejną chińską ofertą eksportową. Jako ciekawostkę można podać, że trwają prace nad jeszcze bardziej zaawansowanym projektem CAP 1700. Prace nad rozwojem chińskich projektów prowadzi SNERDI.

## SNERDI

Ten instytut placówka badawcza jest jednocześnie pierwszym komercyjnym dostawcą (vendor) technologii jądrowych w Chinach. Powstał 8 lutego 1970 r. Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute Co., Ltd. (SNERDI), podaje nazwę i informację za oficjalną stroną internetową instytutu. Jest przedsiębiorstwem high-tech i wsparciem dla State Power Investment Corporation (SPIC). W tej chwili jest znaną na cały świat placówką badawczą oraz projektową w zakresie energetyki jądrowej. Po zakończeniu prac nad pierwszą elektrownią jądrową w Chinach Qinshan Phase I, SNERDI zaprojektowało w Pakistanie EJ Chashma Nuclear Power Plants (CHASNUPP unit 1, 2, 3 and 4).



**Fot. 5.** Qinshan Phase I (fot. z oficjalnej strony internetowej SNERDI)  
**Photo 5.** Qinshan Phase I (Photo from the SNERDI official website)

Od 2008 r. SNERDI jest sponsorowane przez rząd w zakresie R&D projektów bardzo zaawansowanych reaktorów PWR (large-advanced pressurized water reactor), co jest jednym z 16 kluczowych dla narodu naukowo-technologicznych projektów w Chinach (16 National Key Science & Technology Projects in China). Przez 10 lat wprowadzania, wchłaniania, absorpcji i innowacji technologii III Generacji, SNERDI było zaangażowane w projekty AP 1000 w Sanmen i Haiyang.



**Fot. 6.** AP1000 w Sanmen (fot. z oficjalnej strony internetowej SNERDI)  
**Photo 6.** AP1000 in Sanmen (Photo from the official SNERDI website)

Następnie SNERDI pracowało nad projektem CAP1400. Projekt CAP1400 jako zdolny do licencjonowania został zaaprobowany przez chiński dozór National Nuclear Safety Administration, a następnie przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej w ramach Generic Reactor Safety Review (GRSR).



**Fot. 7.** CAP1400 (fot. z oficjalnej strony internetowej SNERDI)  
**Photo 7.** CAP1400 photo from the official SNERDI website

SNERDI zapewnia wsparcie dla SPIC (to jeden z trzech chińskich operatorów w dziedzinie energetyki jądrowej) w zakresie R&D na terenie 29 elektrowni jądrowych 583 nagrodzone przez Państwo (Chiny) i Ministerstwa (tak podaje SNERDI – ciekawe rozróżnienie) do grudnia 2018 r. projekty badawcze nie tylko za postęp w nauce i technologii, ale i za doskonały projekt (design). W Polsce SNERDI

nie ma odpowiednika – więc jakkolwiek próba mojej oceny byłaby intelektualnym nadużyciem. Dzięki moim koreańskim mistrzom miałem okazję zapoznać się z Kepco Engineering&Construction, które projektuje koreańskie reaktory jądrowe. Widać wiele podobieństw: perfekcjonizm oraz naukę na najwyższym poziomie.

### Podsumowanie

To opracowanie, to de facto impresja na temat chińskiego programu jądrowego. Brakuje w nim bardzo wielu elementów jak np. opisu chińskiego rynku energetycznego, polityki najważniejszych operatorów energetyki jądrowej, całego świata chińskiej fizyki jądrowej, systemu chińskich norm technicznych i jądrowych oraz wielu, bardzo wielu innych kwestii kluczowych dla tego zagadnienia i wymagających ...lat studiów. Jego celem jest zaznajomienie i przede wszystkim zainteresowanie tym tematem. Brakuje opracowań w języku polskim dotyczących tej dziedziny. Jako „wychowanek” koreańskiego KINS (dozór jądrowy Korei Południowej) mam trochę koreański punkt widzenia na Chiny, więc być może trochę subiektywny. Ale widać wiele podobieństw między tymi krajami. Tak jak Korea (a jeszcze wcześniej podobnie postępowała Japonia) Chiny zakupują technologie, czy projekty z dziedziny energetyki jądrowej, uczą się ich, następnie rozwijają, a na koniec tworzą nową jakość. Powstają silnie wspierane przez państwo centra naukowe, a nawet całe miasta. W Korei takim miastem jest Daejeon, w Chinach placówki naukowe dotyczące przemysłu jądrowego skupione są w Szanghaju. W Korei program jądrowy w związku z polityką nowego rządu spowolnił (teoretycznie – i tak budują nowe bloki, rozwijają nowe technologie), w Chinach rozwija się. Co istotne jeszcze nie tak dawno Chiny uczyły się w innych krajach między innymi... od nas. Teraz, aby poznać najnowszą inżynierię czy technologie trzeba wybrać się do Chin, to one wyznaczają najnowsze trendy.

Piotr Leśny,  
 Inspektor Dozoru Jądrowego,  
 Departament Nadzoru i Kontroli,  
 Państwowa Agencja Atomistyki,  
 Warszawa

### Literatura:

- [1] IAEA PRIS: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- [2] SNERDI: <https://www.snerdi.com.cn/en/index>
- [3] World Nuclear Association: <https://www.world-nuclear.org/>
- [4] CIRE: <https://www.cire.pl/>
- [5] Global Construction Review: <http://www.global-constructionreview.com/>
- [6] World Nuclear News: <https://www.world-nuclear-news.org/>
- [7] Nuclear Engineering International: <https://www.neimagazine.com/>
- [8] Xinhua: <http://www.chinaview.cn/>