

ENERGETYKA JĄDROWA W CHINACH: HISTORIA, ROZWÓJ, WYZWANIA I PERSPEKTYWY**Paweł Żbikowski**

Prezes Zarządu, Nuclear PL sp. z o.o.

Warszawa, Polska

Pawel.Zbikowski@nuclear.pl**Streszczenie**

Energetyka jądrowa odgrywa coraz istotniejszą rolę w strategii energetycznej Chińskiej Republiki Ludowej. Z kraju, który początkowo importował technologie i licencje, Chiny przekształciły się w światowego lidera w dziedzinie rozwoju i eksportu reaktorów jądrowych. Artykuł ten przedstawia drogę, jaką przeszły Chiny w budowie sektora energetyki jądrowej – od pierwszych kroków po ambitne plany na przyszłość.

Słowa kluczowe

#energetykajądrowa, #Chiny, #atom, #nuclearPL

Wstęp

Energetyka jądrowa odgrywa coraz bardziej istotną rolę w strategii energetycznej Chińskiej Republiki Ludowej. Wobec rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, konieczności redukcji emisji gazów cieplarnianych i potrzeby zapewnienia stabilnych źródeł zasilania, Chiny zdecydowały się na dynamiczny rozwój sektora jądrowego. Proces ten, rozpoczęty w drugiej połowie XX wieku, obejmuje zakup zagranicznych technologii, tworzenie własnych rozwiązań inżynierskich, rozwój infrastruktury paliwowej, a także eksport własnych reaktorów.

Początki energetyki jądrowej w Chinach

Chiński program jądrowy rozpoczął się w latach 50. XX wieku, początkowo jako część programu militarnego, przy wsparciu Związku Radzieckiego. Po politycznym rozłamie z ZSRR w latach 60., Chiny kontynuowały rozwój technologii jądrowej niezależnie. Energetyka jądrowa nabrała znaczenia w latach 70., gdy rząd dostrzegł konieczność zróżnicowania źródeł energii w obliczu rosnącego zapotrzebowania.

Pierwszą chińską jednoblokową Elektrownię Jądrową Qinshan – została uruchomiona w 1991 roku. Była wyposażona w reaktor wodny ciśnieniowy (ang. pressurized water reactor, PWR) model CNP-300 o mocy 300 MW, w pełni zaprojektowany i zbudowany przez chińskich inżynierów z China National Nuclear Corporation (CNNC). W tym samym czasie Chiny rozpoczęły import technologii jądrowych z zagranicy, aby przyspieszyć rozwój sektora.

Zakup technologii i współpraca międzynarodowa

Rozwój energetyki jądrowej w Chinach od samego początku opierał się na intensywnej współpracy międzynarodowej, której celem było pozyskanie zaawansowanych technologii,

know-how oraz doświadczenia w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych. W początkowych dekadach rozwoju sektora energetyki jądrowej w Chinach, kraj ten nie dysponował odpowiednim zapleczem technologicznym ani kadrowym, które umożliwiłoby samodzielne wdrażanie dużych projektów jądrowych. Dlatego też chińska strategia od początku zakładała korzystanie z rozwiązań dostarczanych przez zagranicznych dostawców, przy jednoczesnym dążeniu do stopniowego przejmowania ich technologii i rozwijania własnych kompetencji.

Jednym z pierwszych dużych projektów opartych na zagranicznej technologii była budowa Elektrowni Jądrowej Daya Bay w prowincji Guangdong. Rozpoczęty w latach 80. XX wieku projekt realizowany był we współpracy z francuską firmą Areva (obecnie Framatome – część koncernu EDF), która dostarczyła dwa reaktory PWR model M310. Francuska technologia była ceniona za swoje wysokie standardy bezpieczeństwa i sprawność eksploatacyjną, co czyniło ją atrakcyjną opcją dla wschodzącego chińskiego sektora energetycznego. Dwublokowa Elektrownia Jądrowa Daya Bay, o łącznej mocy elektrycznej netto 1860 MW odegrała kluczową rolę nie tylko jako źródło energii dla południowych Chin i Hongkongu, ale również jako poligon doświadczalny dla chińskich inżynierów i operatorów, którzy po raz pierwszy zetknęli się z pełnoskalowym projektem realizowanym zgodnie z międzynarodowymi normami.

Równolegle Chiny prowadziły współpracę z Kanadą, czego efektem było wdrożenie technologii reaktorów ciężkowodnych CANDU (ang. Canadian Deuterium Uranium). Dwa bloki CANDU 6 zostały zbudowane jako trzecia faza rozbudowy Elektrowni Jądrowej Qinshan (w drugiej fazie zbudowano w latach 1996-2011 cztery bloki CNP-600) i uruchomione odpowiednio w listopadzie 2002 i czerwcu 2003 roku. Kanadyjskie reaktory różniły się konstrukcyjnie od typowych reaktorów PWR, co umożliwiło Chinom zdobycie szerszej perspektywy technologicznej oraz poszerzenie kompetencji w zakresie różnych typów bloków jądrowych. CANDU był także atrakcyjny z uwagi na możliwość stosowania paliwa z naturalnego uranu, co w dalszej perspektywie mogło zmniejszyć zależność Chin od jego wzbogacania do produkcji paliwa jądrowego.

Znaczącym etapem w historii chińskiej energetyki jądrowej była współpraca z Rosją, rozpoczęta w latach 90. XX wieku i kontynuowana w kolejnych dekadach. Kluczowym projektem była budowa Elektrowni Jądrowej Tianwan, w której zastosowano rosyjskie reaktory WWER-1000. Państwowa korporacja jądrowa Rosatom dostarczyła nie tylko technologię, lecz także kompleksowe wsparcie projektowe i inżynieryjne. Współpraca ta była istotna z punktu widzenia transferu wiedzy oraz różnic w podejściu do bezpieczeństwa i zarządzania ryzykiem. Rosyjskie reaktory były znane również ze swojej solidnej konstrukcji i wielowarstwowych systemów zabezpieczeń, co miało szczególne znaczenie dla chińskich władz w kontekście zwiększania zaufania społecznego do energii jądrowej.

Największy wpływ na rozwój nowoczesnych chińskich technologii jądrowych miała jednak współpraca ze Stanami Zjednoczonymi, a konkretnie z firmą Westinghouse Electric Company. W latach 2000. Chiny zakupiły od Westinghouse licencję na budowę reaktorów AP1000 – nowoczesnych jednostek trzeciej generacji, zaprojektowanych z myślą o maksymalnym bezpieczeństwie pasywnym, uproszczonej konstrukcji i wysokiej efektywności ekonomicznej.

Budowa pierwszych reaktorów AP1000 w lokalizacjach Sanmen i Haiyang stanowiła przełom nie tylko technologiczny, lecz także strategiczny. Dzięki szczegółowej umowie transferu technologii, chińskie przedsiębiorstwa państwowe – szczególnie CNNC i State Power Investment Corporation (SPIC) – uzyskały dostęp do dokumentacji technicznej i inżynierskiej, co umożliwiło im późniejsze opracowanie własnych projektów, takich jak CAP1400 oraz Hualong One.

Współpraca międzynarodowa nie ograniczała się jedynie do transferu technologii. Miała również charakter szkoleniowy, regulacyjny i badawczy. Chińscy specjaliści uczestniczyli w licznych programach wymiany, odbywali staże w zagranicznych elektrowniach i instytutach badawczych, a także współpracowali z międzynarodowymi organizacjami, takimi jak Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (ang. International Atomic Energy Agency, IAEA). Dzięki temu możliwe było nie tylko unowocześnienie chińskich norm bezpieczeństwa, ale także ich harmonizacja z normami obowiązującymi w krajach o długiej historii cywilnej energetyki jądrowej.

W efekcie tej wieloetapowej, szeroko zakrojonej współpracy Chiny osiągnęły zdolność do samodzielnego projektowania, budowy i eksportu reaktorów jądrowych. Import zagranicznych rozwiązań nie był więc celem samym w sobie, lecz stanowił element szerszej strategii technologicznego uniezależnienia i stworzenia konkurencyjnego sektora energetyki jądrowej zdolnego do konkurowania na arenie międzynarodowej.

Rozwój własnych technologii

W miarę zdobywania doświadczenia operacyjnego oraz rozwoju krajowego przemysłu, Chiny przeszły od roli odbiorcy technologii do pozycji jej twórcy a rozwój krajowych technologii jądrowych stanowi jeden z najbardziej znaczących przykładów skutecznej adaptacji i transformacji importowanych rozwiązań technologicznych w oryginalne, konkurencyjne konstrukcje. Proces ten, zapoczątkowany w latach 90. XX wieku, był ściśle powiązany z długofalową strategią chińskich władz, która zakładała uniezależnienie się od zagranicznych dostawców, zwiększenie krajowych kompetencji inżynierskich oraz budowę przemysłu zdolnego do eksportu technologii jądrowych na rynek globalny.

Początkowym etapem rozwoju własnych technologii była adaptacja zagranicznych projektów reaktorów PWR, takich jak francuski M310, wykorzystywany przy budowie Elektrowni Jądrowej Daya Bay. Korzystając z tych doświadczeń CNNC rozwijała linię reaktorów CNP w wersji 600 MW oraz 1000 MW oraz niezbudowanych ACP-600 i ACP-1000, natomiast chińscy inżynierowie, działający pod auspicjami China General Nuclear Power Group (CGN), opracowali rodzimą wersję reaktora pod nazwą CPR-1000. Choć konstrukcje te zachowały wiele cech pierwotnego projektu, Chiny sukcesywnie zwiększały udział lokalnie produkowanych komponentów oraz samodzielność projektową. CPR-1000 stanowił istotny krok w kierunku technologicznej niezależności, jednak ze względu na ograniczenia licencyjne nie mógł być eksportowany, co zmusiło władze do dalszej modernizacji technologii.

W odpowiedzi na te ograniczenia, opracowano zmodernizowaną wersję reaktora oznaczoną jako ACPR-1000, a następnie rozpoczęto intensywne prace nad stworzeniem w pełni chińskiego projektu generacji III+. Efektem tych wysiłków był reaktor Hualong One (znany również jako

HPR1000), który powstał w wyniku połączenia doświadczeń CGN i CNNC. Hualong One stanowi obecnie flagowy projekt chińskiej energetyki jądrowej i został zaprojektowany z myślą o pełnej zgodności z międzynarodowymi standardami bezpieczeństwa, w tym wymaganiami European Utility Requirements (EUR). Reaktor ten charakteryzuje się wykorzystaniem aktywnych i pasywnych systemów bezpieczeństwa, uproszczoną architekturą technologiczną, a także zwiększoną efektywnością operacyjną. Jego moc wynosi około 1150 MWe netto, a przewidywana żywotność wynosi co najmniej 60 lat.

Pierwszy reaktor Hualong One został uruchomiony w listopadzie 2020 roku jako 5. blok Elektrowni Jądrowej Fuqing w prowincji Fujian. Szybkie tempo realizacji tego projektu (budowa rozpoczęła się w maju 2025 roku) oraz pomyślna eksploatacja udowodniły, że Chiny osiągnęły poziom umożliwiający im nie tylko wdrażanie złożonych projektów jądrowych na skalę krajową, lecz także oferowanie ich na rynkach zagranicznych. W 2021 roku reaktor Hualong One został oficjalnie zaprezentowany jako oferta eksportowa, co zaowocowało realizacją projektów w Pakistanie (Elektrownia Jądrowa Kanupp) oraz planami współpracy z krajami Ameryki Południowej i Europy.

Równolegle do prac nad Hualong One, Chiny rozwijały własne wersje zaawansowanych reaktorów na bazie amerykańskiej technologii AP1000. Dzięki transferowi technologii w ramach współpracy z firmą Westinghouse, chińska korporacja SPIC opracowała projekt CAP1400 – reaktora o zwiększonej mocy (1 400 MWe) i podwyższonych parametrach bezpieczeństwa. Choć budowa demonstracyjnego bloku CAP1400 (określanego również jako Guohe One) wciąż znajduje się na etapie realizacji, projekt ten stanowi wyraźny dowód ambicji technologicznych Chin i ich dążenia do stworzenia konkurencyjnej alternatywy wobec najnowszych reaktorów oferowanych przez koncerny amerykańskie, koreańskie czy francuskie.

Chiny opracowały również wersję pośrednią adaptacji technologii Westinghouse AP1000 – reaktor CAP1000 z istotnym zwiększeniem udziału krajowych komponentów i systemów. Reaktor CAP1000, zachowując kluczowe cechy bezpieczeństwa pasywnego i uproszczonej konstrukcji AP1000, jest jednocześnie przykładem efektywnego procesu transferu technologii, prowadzącego do stopniowego usamodzielniania się chińskiego przemysłu jądrowego.

W odróżnieniu od oryginalnego AP1000, którego część kluczowych komponentów była dostarczana z zagranicy, CAP1000 bazuje w znacznie większym stopniu na krajowym łańcuchu dostaw. Chińskie przedsiębiorstwa nie tylko produkują elementy ciśnieniowe reaktora, układy chłodzenia oraz systemy kontroli i zabezpieczeń, lecz również przejmują odpowiedzialność za projektowanie i zarządzanie całym cyklem realizacji inwestycji. Reaktor CAP1000 z założenia ma być bardziej dostosowany do chińskich warunków operacyjnych, wymagań sieciowych oraz standardów przemysłowych.

CAP1000 nie jest jedynie kopią technologii amerykańskiej, lecz stanowi etap przejściowy pomiędzy pełnym importem rozwiązań zagranicznych a opracowaniem całkowicie własnych konstrukcji, takich jak CAP1400 czy Hualong One. W tym kontekście należy go traktować jako kluczowy element chińskiej strategii technologicznej, która zakłada budowanie kompetencji przez stopniowe przejmowanie kluczowych procesów inżynierskich i produkcyjnych. Projekt ten stanowi również istotny zasób technologiczny w kontekście ewentualnych wdrożeń na rynkach

państw rozwijających się, gdzie elastyczność, niezawodność i standaryzacja są szczególnie pożądane.

W ostatnich latach Chiny kierują uwagę również na reaktory przyszłości, w szczególności technologie IV generacji. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się projekty wysokotemperaturowych reaktorów chłodzonych gazem (ang. high-temperature gas-cooled reactor, HTGR), które mają potencjał zastosowań nie tylko w produkcji energii elektrycznej, ale także w przemyśle czy produkcji wodoru. W 2021 roku w miejscowości Shidaowan uruchomiono demonstracyjną jednostkę tego typu – blok HTR-PM – wyposażony w dwa reaktory o mocy cieplnej 250 MW, wspólnie zasilających turbozespół o mocy elektrycznej netto 200 MW. Reaktory te, chłodzone helem i wykorzystujące kulowe elementy paliwowe TRISO, reprezentują potencjalny kierunek przyszłego rozwoju niskoemisyjnych, wielofunkcyjnych źródeł energii.

Innym istotnym obszarem innowacji są tzw. małe reaktory modułowe (ang. Small Modular Reactors, SMR). Projekty takie jak ACP100 (Linglong One) realizowane przez CNNC mają na celu dostarczenie elastycznych i łatwych do wdrożenia rozwiązań, szczególnie dla regionów słabo zurbanizowanych, wysp, obszarów górskich lub dla zastosowań pozaprzemysłowych – takich jak ciepłownictwo miejskie czy odsalanie wody. SMR są promowane jako technologia zwiększająca dostępność energetyki jądrowej, przy jednoczesnej redukcji kosztów inwestycyjnych i ryzyk projektowych.

Rozwój własnych technologii jądrowych w Chinach to proces wielowymiarowy, obejmujący zarówno adaptację sprawdzonych konstrukcji, jak i tworzenie innowacyjnych rozwiązań z myślą o globalnej konkurencyjności. Dzięki determinacji politycznej, silnemu wsparciu finansowemu i skoordynowanej współpracy między instytucjami badawczymi a przemysłem, Chiny zdołały zbudować kompleksowy ekosystem umożliwiający projektowanie, budowę, eksploatację i eksport reaktorów jądrowych. Sukces w tej dziedzinie potwierdza nie tylko rosnącą rolę Chin jako potęgi technologicznej, ale także ich zdolność do kształtowania przyszłości światowej energetyki w kierunku bardziej zrównoważonym i niskoemisyjnym.

Pozyskiwanie uranu i współpraca w zakresie produkcji paliwa

Wraz z dynamiczną rozbudową krajowego sektora jądrowego, Chiny podejmują intensywne działania mające na celu zapewnienie długoterminowego bezpieczeństwa dostaw uranu jako surowca strategicznego. W tym celu rozwijają zarówno krajowe zdolności wydobywcze, jak i dywersyfikują źródła zagranicznego zaopatrzenia poprzez inwestycje i partnerstwa bilateralne. Krajowe zasoby uranu, choć obecne, nie są wystarczające do zaspokojenia przewidywanego popytu wynikającego z planów budowy setek nowych reaktorów do połowy XXI wieku. Dlatego też Państwo Środka przyjęło strategię „wielowektorowego bezpieczeństwa surowcowego”, opartą na bezpośrednich inwestycjach zagranicznych, długoterminowych kontraktach oraz międzynarodowej współpracy technologicznej.

Najważniejszym partnerem Chin w zakresie dostaw uranu i wspólnego rozwoju technologii paliwowej jest Kazachstan – światowy lider w wydobyciu tego pierwiastka. Obie strony zacieśniły relacje gospodarcze i technologiczne poprzez serię umów między CNNC a kazachstańskim

państwowym koncernem Kazatomprom. Współpraca ta obejmuje nie tylko eksport uranu naturalnego, ale także rozwój zdolności do wspólnej produkcji paliwa jądrowego, w tym fabrykowanie prętów paliwowych. Przykładem takiego partnerstwa jest powołanie do życia w 2021 roku zakładu Ulba-FA w Ust-Kamenogorsku, produkującego zestawy paliwowe dla chińskich reaktorów Hualong One. Zakład ten, będący joint venture pomiędzy Kazatompromem i CGNPC Uranium Resources Co., dostarcza paliwo zgodne ze specyfikacją chińskich technologii, co umożliwia zwiększenie niezależności od zachodnich dostawców oraz poprawia bezpieczeństwo dostaw w ujęciu geopolitycznym.

Równolegle Chiny intensyfikują działania w Afryce, Australii, Kanadzie i Azji Środkowej, inwestując w udziały w zagranicznych kopalniach uranu oraz podpisując długoterminowe kontrakty na dostawy. Strategiczne znaczenie ma również rozwój własnego łańcucha wartości w zakresie wzbogacania uranu oraz produkcji elementów paliwowych. Państwo Środka nie tylko zwiększa zdolności do produkcji paliwa typu PWR, ale także rozwija technologie związane z paliwami dla reaktorów prędkich i eksperymentalnych, takich jak torowe i wysokoenergetyczne paliwa dla reaktorów wysokotemperaturowych.

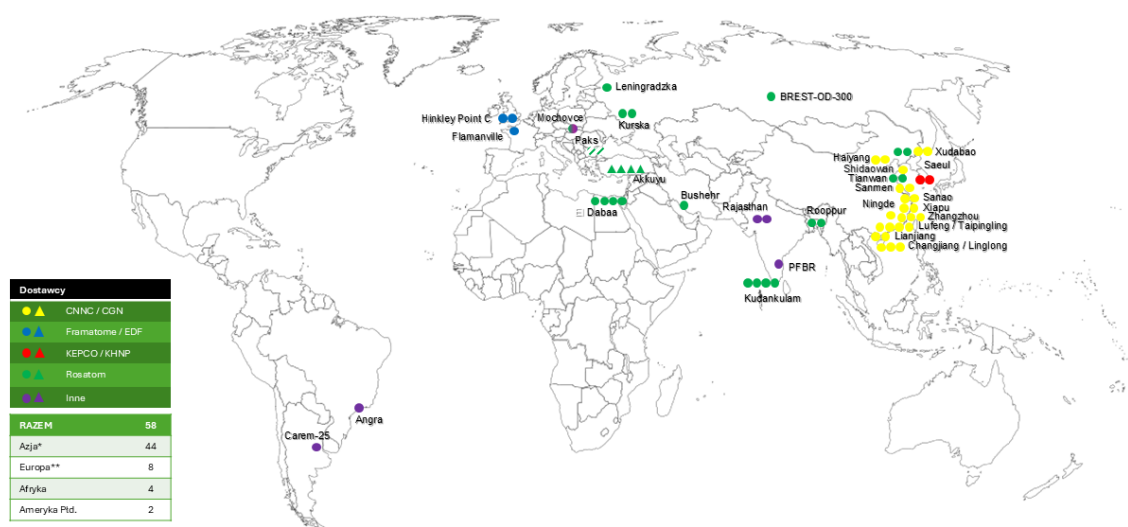
Działania te wpisują się w szerszy kontekst chińskiej strategii jądrowej: nie tylko chodzi o budowę reaktorów, ale o stworzenie pełnego, suwerennego łańcucha technologicznego obejmującego wydobycie, wzbogacanie, projektowanie zestawów paliwowych, a w dalszej perspektywie – również recykling i utylizację wypalonego paliwa. Dzięki temu Chiny nie tylko minimalizują ryzyko związane z zakłóceniami dostaw zewnętrznych, ale również budują pozycję eksportera kompleksowych rozwiązań jądrowych, konkurencyjnego względem tradycyjnych dostawców z USA, Rosji czy Francji.

Stan obecny i skala inwestycji

Współczesna energetyka jądrowa w Chinach stanowi jeden z kluczowych elementów krajowej strategii transformacji energetycznej, ukierunkowanej na redukcję emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie niezależności energetycznej oraz budowę nowoczesnej, niskoemisyjnej gospodarki. W 2024 roku Chiny zajmują trzecie miejsce na świecie pod względem całkowitej mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych, ustępując jedynie Stanom Zjednoczonym i Francji. Jednocześnie są zdecydowanym liderem pod względem liczby budowanych bloków oraz szybkości przyrostu mocy. Stan ten jest rezultatem długofalowych i konsekwentnych działań państwa, łączących wsparcie polityczne, mobilizację kapitału oraz rozwój krajowego zaplecza technologicznego.

Według danych China Nuclear Energy Association (CNEA), na koniec 2024 roku w eksploatacji znajduje się 56 reaktorów jądrowych o łącznej mocy przekraczającej 55 GW, natomiast kolejne 26 reaktorów jest w trakcie budowy, co czyni Chiny krajem o największej liczbie reaktorów w fazie realizacji. Warto zaznaczyć, że niemal wszystkie nowe inwestycje dotyczą nowoczesnych reaktorów generacji III lub III+, takich jak Hualong One, CAP1000 oraz CAP1400, które spełniają najwyższe standardy bezpieczeństwa międzynarodowego. W strukturze projektów dominują duże, wieloblokowe elektrownie, zlokalizowane głównie na wybrzeżu – m.in. w prowincjach Fujian, Guangdong, Zhejiang oraz Shandong.

Chińska strategia inwestycyjna w sektorze jądrowym opiera się na założeniu o jego kluczowej roli w realizacji celów klimatycznych, w szczególności tzw. podwójnego celu węglowego, czyli osiągnięcia szczytu emisji CO₂ przed 2030 rokiem i neutralności klimatycznej do 2060 roku. W tym kontekście energetyka jądrowa stanowi nie tylko uzupełnienie dla odnawialnych źródeł energii, ale również stabilne źródło mocy bazowej, umożliwiające rezygnację z węgla w elektroenergetyce. Władze centralne i prowincjonalne wspierają rozwój sektora poprzez upraszczanie procedur zatwierdzających, subsydia inwestycyjne, preferencyjne kredyty oraz długoterminowe kontrakty na zakup energii. Dodatkowo, rząd zachęca państwowe korporacje do konsolidacji sektora i tworzenia wyspecjalizowanych podmiotów zdolnych do prowadzenia projektów od fazy koncepcyjnej po eksploatację i eksport.



Rysunek 1. Projekty jądrowe realizowane na świecie (stan wrzesień 2024, *w tym Turcja, **na Węgrzech prace przygotowawcze), opracowanie własne

Skala inwestycji w energetykę jądrową w Chinach jest bezprecedensowa. Szacuje się, że do 2035 roku kraj zainwestuje ponad 500 miliardów dolarów amerykańskich w budowę nowych reaktorów, rozwój technologii IV generacji, modernizację infrastruktury paliwowej oraz badania nad gospodarką obiegu zamkniętego paliwa jądrowego. Zgodnie z planami Chińskiej Administracji Energetycznej (NEA), do 2030 roku moc zainstalowana elektrowni jądrowych ma osiągnąć co najmniej 70 GW, a do 2035 roku – przekroczyć 100 GW. W dłuższej perspektywie, do połowy XXI wieku, sektor jądrowy ma stanowić około 20% miks energetyczny Chin.

Obecna faza ekspansji charakteryzuje się nie tylko dużą skalą, lecz również dywersyfikacją projektów. Oprócz tradycyjnych reaktorów PWR, coraz większe znaczenie zyskują inicjatywy związane z reaktorami prędkimi, wysokotemperaturowymi reaktorami chłodzonymi gazem oraz małymi reaktorami modułowymi. Prowadzone są także prace badawcze nad reaktorami opartymi na torze oraz nad reaktorami IV generacji chłodzonymi stopionymi solami. W tym kontekście Chiny budują nie tylko własną bazę produkcyjną i operacyjną, lecz również zaplecze naukowo-badawcze, skupione wokół instytutów takich jak China Institute of Atomic Energy (CIAE) czy Shanghai Institute of Applied Physics (SINAP).

Warto także podkreślić rosnący nacisk na bezpieczeństwo eksploatacji i zarządzanie cyklem paliwowym. Chiny rozwijają krajowy potencjał w zakresie produkcji i wzbogacania paliwa jądrowego, a także prowadzą projekty demonstracyjne związane z recyklingiem zużytego paliwa i składowaniem odpadów promieniotwórczych. Równocześnie trwa modernizacja systemu nadzoru jądrowego, którego zadaniem jest zapewnienie zgodności z międzynarodowymi normami oraz zwiększenie przejrzystości w oczach opinii publicznej i partnerów zagranicznych.

Stan obecny chińskiej energetyki jądrowej można określić jako dynamiczną fazę ekspansji i konsolidacji pozycji na arenie międzynarodowej. Dzięki połączeniu determinacji politycznej, wsparcia finansowego, własnych zdolności technologicznych oraz skali operacyjnej, Chiny stworzyły jeden z najbardziej rozwiniętych i perspektywicznych sektorów energetyki jądrowej na świecie. Sektor ten nie tylko odpowiada na krajowe wyzwania energetyczne i środowiskowe, ale również stanowi narzędzie realizacji globalnych ambicji Chin jako lidera innowacji i eksportera wysokich technologii w obszarze czystej energii.

Wyzwania i kontrowersje

Pomimo spektakularnego tempa rozwoju i szerokiego wsparcia państwowego, chiński sektor energetyki jądrowej stoi przed szeregiem wyzwań natury technicznej, instytucjonalnej, społecznej i geopolitycznej. Skala inwestycji oraz tempo wdrażania nowych projektów rodzą istotne pytania dotyczące długoterminowego bezpieczeństwa, akceptacji społecznej, transparentności regulacyjnej oraz wpływu na środowisko. Jednym z kluczowych wyzwań pozostaje zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa w kontekście rozproszonego zarządzania infrastrukturą jądrową, zróżnicowanego poziomu doświadczenia operatorów oraz dynamicznie rozwijającego się krajowego przemysłu dostawczego.

Bezpieczeństwo jądrowe w Chinach podlega ścisłemu nadzorowi państwowemu, jednak krytycy zwracają uwagę na ograniczoną niezależność regulatora – National Nuclear Safety Administration (NNSA) – oraz potencjalne konflikty interesów wynikające z powiązań instytucjonalnych z podmiotami inwestującymi w nowe bloki. Choć Chiny przyjęły wiele elementów systemów bezpieczeństwa opracowanych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej, wciąż istnieją różnice w zakresie jawności informacji, publicznego dostępu do danych o incydentach oraz w partycypacyjnym modelu podejmowania decyzji. Brak silnych mechanizmów społecznego nadzoru oraz słaba pozycja organizacji pozarządowych w dyskursie o energetyce jądrowej utrudniają budowanie zaufania społecznego, szczególnie w kontekście lokalizacji nowych elektrowni.

Drugim istotnym wyzwaniem jest zarządzanie odpadami promieniotwórczymi oraz wypalonym paliwem jądrowym. Choć władze deklarują rozwój gospodarki zamkniętego cyklu paliwowego, a także inwestują w technologie przetwarzania i przechowywania odpadów, proces ten pozostaje w fazie eksperymentalnej i nieobjęty w pełni transparentną polityką informacyjną. Kwestia lokalizacji składowisk oraz długoterminowego zarządzania odpadami budzi społeczny niepokój i może stać się jednym z głównych źródeł oporu wobec ekspansji sektora jądrowego.

Nie bez znaczenia pozostaje także aspekt ekonomiczny. Pomimo ogólnego konsensusu co do opłacalności energetyki jądrowej w długim okresie, wiele projektów boryka się z przekroczeniami kosztów i opóźnieniami, szczególnie na wczesnych etapach wdrażania nowych typów reaktorów. Wymogi kapitałowe dla budowy bloków jądrowych są ogromne, co wymusza zaangażowanie państwowych instrumentów finansowych oraz uzależnia powodzenie inwestycji od centralnej kontroli nad systemem elektroenergetycznym. Dodatkowo, konkurencja ze strony taniejących źródeł odnawialnych, takich jak fotowoltaika i wiatr, stawia przed energetyką jądrową pytania o elastyczność produkcji i adaptację do zmiennego miksu energetycznego.

W wymiarze międzynarodowym, ekspansja chińskiej energetyki jądrowej napotyka również przeszkody o charakterze geopolitycznym. Chiny, oferując własne technologie (np. Hualong One) na rynkach zagranicznych, konkurują z ustabilizowanymi dostawcami z USA, Francji czy Korei. Jednakże napięcia polityczne i obawy dotyczące standardów bezpieczeństwa, ochrony danych czy kontroli technologicznej ograniczają potencjalne możliwości eksportu. Część państw – szczególnie w Europie i regionie Indo-Pacyfiku – traktuje chińskie projekty z rezerwą, postrzegając je jako narzędzie wpływów politycznych i gospodarczych, a nie wyłącznie transferu technologii energetycznej.

Wreszcie, nie można pominąć wyzwań związanych z przyszłością samego modelu energetycznego. Chiny, dążąc do dominacji technologicznej, muszą zdecydować, czy preferują model scentralizowanej, wielkoskalowej energetyki bazującej na dużych reaktorach jądrowych, czy też otwierają się na zdecentralizowane systemy hybrydowe, w których energia jądrowa współistnieje z rozproszoną produkcją OZE, magazynowaniem energii i inteligentnym zarządzaniem popytem. Od tej decyzji zależy nie tylko kształt krajowego systemu energetycznego, ale również zdolność do skutecznego i elastycznego reagowania na zmieniające się uwarunkowania klimatyczne, ekonomiczne i technologiczne.

Podsumowanie

Energetyka jądrowa w Chinach przeszła drogę od technologicznego importera do innowacyjnego lidera o ambicjach globalnych. Pomimo znacznych sukcesów w zakresie budowy własnych reaktorów, tworzenia suwerennego łańcucha paliwowego oraz ekspansji na rynki międzynarodowe, sektor ten pozostaje obciążony wyzwaniami, które mogą wpłynąć na jego długoterminowe perspektywy. Przejrzystość, bezpieczeństwo, akceptacja społeczna i integracja z innymi źródłami energii będą kluczowe dla zbudowania zaufania zarówno w kraju, jak i za granicą. W nadchodzących dekadach Chiny będą musiały nie tylko kontynuować rozwój infrastruktury, lecz także sprostać oczekiwaniom społecznym i normom międzynarodowym, by energia jądrowa mogła rzeczywiście odegrać rolę filaru transformacji energetycznej.

Bibliografia

1. International Atomic Energy Agency, Country Nuclear Power Profiles, 2024, <https://cnpp.iaea.org/public/>
2. International Atomic Energy Agency, Power Reactor Information System, <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>

3. International Energy Agency, World Energy Outlook 2022, 2022, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
4. Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Nuclear and Radiation Safety Annual Report, 2022, <http://english.mee.gov.cn>
5. National Development and Reform Commission, 14th Five-Year Plan for Modern Energy System, 2021, <http://en.ndrc.gov.cn>
6. State Council of the People's Republic of China, White paper on nuclear energy in China, 2023, <http://english.www.gov.cn>
7. World Nuclear Association, Nuclear Power in China, 2024, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power>
8. World Nuclear Association, China's Nuclear Fuel Cycle, 2024, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle>