

---

# O tworzeniu energetyki jądrowej w Polsce

Piotr Kociński\*

doradca zarządu Grupy LOTOS S.A.

---

**Streszczenie.** W Polsce od wielu lat toczy się dyskusja, w jaki sposób rozbudowywać energetykę, zwiększać moce wytwórcze. Kwestią bardzo istotną jest niska emisyjność dwutlenku węgla urządzeń wytwarzających energię. Mając to na uwadze staramy się przekonać Czytelnika, że energetyka jądrowa byłaby dobrym uzupełnieniem nowego energetycznego miksu dla Polski, co więcej wskazujemy, że już w tej chwili winniśmy jako państwo rozpocząć działania. Podajemy też optymalne uwarunkowania w jakich te działania należy prowadzić.

---

## 1. Wstęp

W Polsce toczy się dyskusja, czy budować energetykę jądrową, a jeśli tak, to jakiego typu reaktory winny stać się podstawą naszego programu jądrowego. Poniżej przedstawimy argumenty przemawiające za rozpoczęciem budowy polskiej energetyki jądrowej wykorzystującej reaktory dużej mocy. W dość powszechnie przyjętej systematyce, wartością mocy rozgraniczającą małe reaktory od dużych jest 300 MW. Jednak ze względu na dostępne obecnie na rynku technologie nuklearne przyjmujemy założenie, że duży reaktor dostarcza moc powyżej 800 MW. Wskazując, jaką rolę duże reaktory winny odegrać w naszym mieszkaniu energetycznym, podamy przesłanki, którymi się kierowaliśmy. W rozważaniach odniesiemy się do całego szeregu kwestii, takich jak: potrzeby, w tym energetyczne, polskiej gospodarki, zdolność do tworzenia dużych i złożonych rozwiązań nasyconych wysoko zaawansowaną technologią, koszt budowy i koszt przyszłej energii związanej z poszczególnymi rozwiązaniami jądrowymi, przepisy prawne odnoszące się do energetyki w ogólności i energetyki jądrowej w szczególności, nasza obecność w Unii Europejskiej i związane z tym obowiązki (na przykład dążenie do eliminacji śladu węglowego w naszej gospodarce poprzez zmniejszenie spalania węgla), bezpieczeństwo państwa. Generalnie weźmiemy pod uwagę tylko te kwestie, które mają wpływ na dokonanie wskazanego wyżej wyboru. Nie będziemy wszakże dokonywali przeglądu historii rozwoju cywilnych technologii nuklearnych, pewne tematy potraktujemy jako oczywiste i odniesiemy się do nich w sposób postulatyczny.

Reaktory jądrowe o mocy co najmniej 800 MW priorytetem polskiej energetyki.

Wskażemy obszary i perspektywę czasową, odniesioną do momentu, gdy zaczniemy pracować nad pierwszą elektrownią składającą się z co najmniej dwóch bloków o mocy 1 GW każdy, w których prace nad innymi rozwiązaniami opartymi na uzyskiwaniu energii z rozszczepienia jąder (*fission*) atomowych byłyby pożądane.

Na koniec przypominamy, że, choć stosowaną przez wszystkich jednostką energii w odniesieniu do urządzeń wytwarzania energii jest MWh (megawatogodzina), to ze względu na ewentualną potrzebę porównania czy dokonania bilansu energetycznego np. z energią skupioną w kopalinach, takich jak węgiel czy ropa naftowa, wyrażoną zwykle w kaloriach,<sup>1</sup> to relacja pomiędzy tymi jednostkami wyraża się następująco,

$$1 \text{ MWh} = 8.6 \times 10^8 \text{ cal}$$

## 2. Potrzeby energetyczne polskiej gospodarki w perspektywie najbliższych 20 lat

Energia potrzebna jest do podtrzymywania życia na Ziemi, a w szczególności cywilizacji jako uporządkowanej formy egzystowania zgromadzeń ludzkich. Warunkiem niezbędnym do budowy i trwania jakiegokolwiek cywilizacji była zawsze umiejętność przekształcania energii,

---

1. Jedna kaloria (cal) jest miarą energii potrzebnej do ogrzania jednego grama wody o jeden stopień.

---

\* O autorze. Piotr Kociński uzyskał tytuł doktora fizyki w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie w roku 1992. Od 1998. pracował w międzynarodowych korporacjach, między innymi 13 lat w IBM, tworząc oprogramowanie dla przemysłu, instytucji finansowych i sektora publicznego oraz pisząc dla IBM International Technical Support Organization podręczniki na temat tworzenia oprogramowania. W roku 2016 kierował spółką specjalnego znaczenia Aplikacje Krytyczne, której zadaniem było stworzenie oprogramowania wspierającego uszczelnienie systemu poboru podatku VAT. Pierwsza gotowa do użycia wersja tego oprogramowania powstała w marcu 2017 roku. Od września 2017 pełnił funkcję wiceprezesa spółki LOTOS Lab.

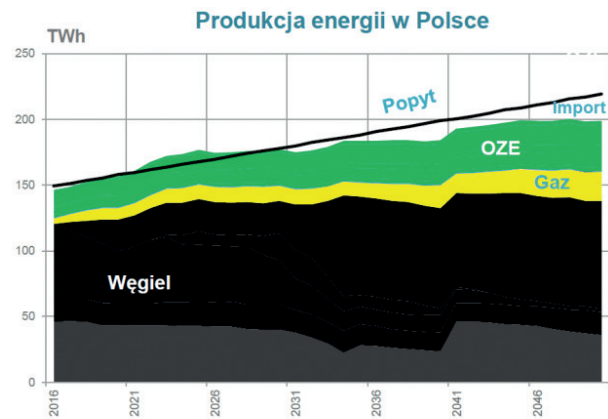
skupionej bądź w mięśniach ludzi czy zwierząt, bądź w kopalinach czy roślinach, w pracę niezbędną do wykonania różnych czynności, takich jak tworzenie i utrzymanie ludzkich siedzib czy narzędzi, polowanie, prowadzenie wojny oraz w ciepło potrzebne do gotowania strawy, ogrzewania itp. Powyższy warunek pozostaje w mocy, zmianie uległy natomiast sposoby przekształcana energii skupionej w kopalinach, drewnie, jak i wielość potrzeb, do zaspokajania których jest stosowana. Do zapewnienia bezpiecznego, w miarę komfortowego i zasobnego życia obywatelom Polska potrzebuje w 2019 roku około 150 TWh<sup>2</sup> energii (przede wszystkim tej, która zamieniana jest na prąd elektryczny dostarczany gospodarstwom domowym i gospodarce oraz energii cieplnej).

Możliwości naszej energetyki, której moc wytwarza kształtuje się obecnie na poziomie 44 GW, zaspokajają te potrzeby. Pamiętać jednak należy, że:

- Sposoby uzyskiwania energii, czyli przede wszystkim spalanie węgla, przy polityce Unii Europejskiej nastawionej z powodu ochrony klimatu na eliminację spalania węgla jako źródła produkowania energii, skutkują nieuchronnie ciągłym wzrostem cen prądu, powodowanym rosnącą ceną opłat związanych z emisją dwutlenku węgla.
- Zasoby węgla w Polsce są ograniczone: złoża węgla brunatnego skończą się około 2030 roku, a złoża węgla kamiennego starczą na dłużej, jednak węgiel kamienny w Polsce zalega bardzo głęboko, co zwiększa koszt jego wydobycia (zwróćmy uwagę, że ze względu na dużą automatyzację wydobycia, jak i zapewnienie górnikom bezpieczeństwa i znośnych warunków pracy pod ziemią, już teraz bilans energetyczny pracy kopalni mierzony współczynnikiem *maksymalna energia uzyskana w wyniku spalania węgla wydobytego na dobę / energia potrzebna do funkcjonowania wszelkich urządzeń w kopalni w ciągu doby* w przypadku kopalni ze stosunkowo płytkimi pokładami węgla wynosi ok. 1.3) W rezultacie uzależnienia nas to od węgla importowanego, przede wszystkim z Rosji.
- Rozwijająca się polska gospodarka będzie potrzebować coraz więcej energii; przewiduje się, że w 2040 roczne zapotrzebowanie sięgnie przypuszczalnie poziomu 200 TWh.

W tej sytuacji najprościej byłoby skupić się na budowie nowych bloków opartych o spalanie węgla kamien-

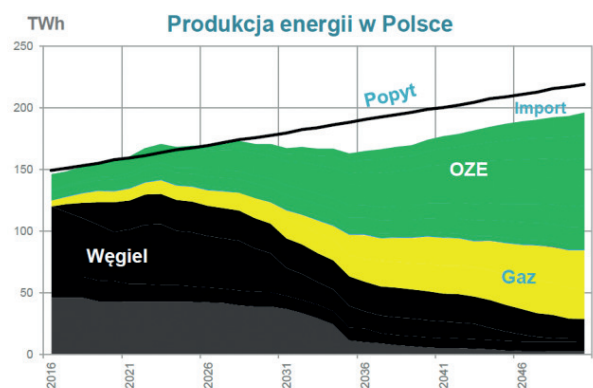
nego, o lepszych parametrach technicznych z punktu widzenia emisji dwutlenku węgla, wydłużaniu czasu funkcjonowania starych bloków i w dotychczasowym tempie (mierzonym stałymi, niewielkimi jak dotąd, rocznymi przyrostami) zwiększaniu udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w produkcji energii, realizując scenariusz rozwoju jak na poniższym diagramie, zaprezentowanym w materiałach opracowanych przez Parlamentarny Zespół Górnictwa i Energii w 2017 roku.



Źródło: enervis Enerav Advisors

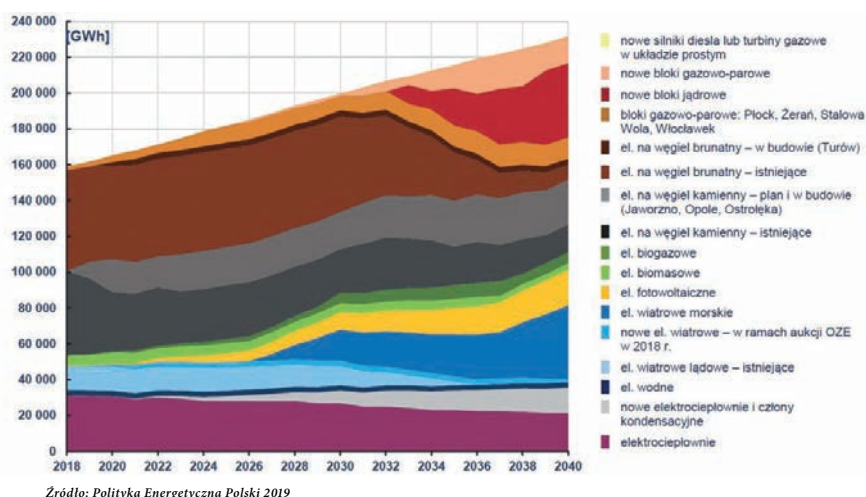
Zwróćmy uwagę, że w tej projekcji od 2031 popyt (zaznaczony na diagramie czarną, ciągłą linią) przewyższa możliwości produkcyjne i Polska będzie zmuszana do importu energii. Z tego powodu, jak i ze względu na wynikającą z przynależności Polski do Unii Europejskiej konieczność zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, w długiej perspektywie czasu sensowniejszym wydaje się jednak rozważenie innych scenariuszy. Jednym z możliwych, bardzo silnie promowanym przez wiele państw Unii Europejskiej, jest oparcie energetyki na OZE (czyli wiatraki, fotowoltaika, biogazownie, elektrownie wodne, spalanie biomasy i odpadów). Prognoza rozwoju mogłaby wyglądać następująco:

Ten kuszący, „zielony” scenariusz, choć znakomicie realizuje wymóg zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, ma jednak wady. Nadal zakładamy niedobór produkowanej energii w stosunku do potrzeb (patrz czarna,



Źródło: enervis Energy Advisors

2. terawatogodzina 1 Twh = 1 000 000 000 kWh (przyp. red.).



ciągła linia na powyższym diagramie obrazująca popyt), które będą kompensowane importem energii. Przede wszystkim jednak OZE dostarcza energię w sposób nieciągły, duża moc (moc wiatraków umiejscowionych na polskich wodach terytorialnych na Bałtyku to rząd 8 GW) w znacznym stopniu ma jednak charakter potencjalny. Nie zawsze może być użyta do produkcji energii. Oparcie energetyki krajowej na OZE wymagałoby zastosowania szeregu nowych urządzeń, takich jak choćby magazyny energii, oprogramowanie klasy *energy/battery management system*, które technologicznie nie są jeszcze dojrzałe, w dużej mierze są dopiero na etapie badań. OZE może być zatem komponentem tzw. miksu energetycznego, ale nie wiodącym rozwiązaniem. W chwili obecnej warto zatem rozważyć scenariusz (patrz diagram poniżej), w którym energię uzyskiwaną ze spalania węgla powoli zastępujemy energią uzyskiwaną z rozszczepiania jąder atomów takich jak uran czy tor, przy czym tor jako paliwo jądrowe w cywilnych reaktorach nie jest stosowany.

Zastosowanie na wielką skalę energii jądrowej przyczyni się do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla przez naszą gospodarkę.

W dalszej części zastanowimy się jaki typ reaktorów jądrowych w okolicznościach, z jakimi obecnie mamy w Polsce do czynienia, powinien wyznaczyć punkt startowy programu energetyki jądrowej w Polsce. Ten „startowy” typ reaktora będzie miał zatem charakter strategiczny.

Powyższe scenariusze winny być odczytywane w skali całego kraju. Strategiczny wybór technologii jądrowej proponujemy odnosząc się właśnie do skali całego państwa. W skali lokalnej natomiast (małe miasto czy też konkretny ośrodek przemysłowy potrzebujące zastąpienia starego bloku o mocy ok. 100 MW wytwarzającego zarówno energię elektryczną, jak i przede wszystkim energię ciepłą, bądź ewentualnie elektrownie węglowe planujące wymianę jednego ze swoich starych blo-

ków o mocy ok. 200 MW) można myśleć o zastosowaniu innej niż strategiczna dla całego kraju technologia jądrowa. Tym technologicznym wariantom, do zastosowania w skali lokalnej, również się przyjrzymy, umiejscawiając ich dojrzałość technologiczną na osi czasu względem już rozwiniętych, sprawdzonych w praktyce technologii jądrowych.

### 3. Energetyka jądrowa. O sposobach wytwarzania prądu i ciepła

Od 120 lat każde rozwinięte państwo potrzebuje prądu. Prąd napędzając wszelkie urządzenia znajdujące się w gospodarstwach domowych, fabrykach, instalacjach wojskowych itd. jest tym, na czym opiera się funkcjonowanie państwa we wszystkich jego aspektach. W elektrowniach obracająca się turbina uruchamia generator, który wytwarza prąd. Typologia elektrowni czy też środków wytwarzania prądu jest oparta na źródle energii poruszającej turbinę. Poruszać turbinę może wiatr, spadająca woda, para wodna podawana pod ciśnieniem. Ten ostatni wariant poruszania turbiny jest wspólny dla elektrowni, w której transformacja energii skupionej w jakimś naturalnie występującym mineralu (na przykład węgla) polega na jego spalaniu (*combustion*) oraz takiej, w której ta transformacja zachodzi w wyniku rozszczepiania jąder atomowych jakiegoś pierwiastka (przede wszystkim uranu). Ten ostatni typ to elektrownie jądrowe.

Zasadnicza linia podziału elektrowni jądrowych przebiega względem rodzaju używanego chłodziwa pobierającego ciepło od rdzenia (*core*) składającego się z paliwa jądrowego (materiału rozszczepialnego) oraz moderatora (materiału spowalniającego neutrony poruszające się w reaktorze w celu zwiększenia prawdopodobieństwa zderzenia neutronu z jądrem, co skutkuje wzrostem wytwarzanej energii). Chłodziwem może być woda bądź schłodzony gaz (*cooledgas*). W przypadku stosowania wody jako chłodziwa możemy podzielić

reaktory na te, w których woda jest utrzymywana pod dużym ciśnieniem (zatem nie może się zagotować), bądź ma możliwość dochodzenia do stanu wrzenia. Upraszczając, mamy do czynienia z następującą systematyką:

- Reaktory z wodą jako chłodziwem:
  - wodą pod ciśnieniem – PWR (*pressurized water reactor*),
  - wodą, która nie jest pod ciśnieniem – BWR (*boiled water reactor*).
- Reaktory z gazem jako chłodziwem – HTGR (*high temperature gas cooled reactor*).

Reaktory typu PWR są w tej chwili najpowszechniej stosowane. Na rynku dostępne są między innymi modele takie jak:

- koreański APR-1400 stworzony przez Korea Electric Power Corporation,
- francuski EPR zwany European Pressurized Reactor,
- amerykański AP1000, który zaprojektowała firma Westinghouse.

W przypadku reaktorów z wodą jako chłodziwem niekiedy różnicującym elementem był materiał stosowany jako moderator, jak i sposób w jaki stosowano chłodziwo. Na przykład w radzieckich reaktorach RBMK (*Реактор большой мощности канальный*), od katastrofy w Czarnobylu dość niesławnej pamięci, stosowano jako moderator grafit zamiast tzw. ciężkiej wody, a zamiast jednego zbiornika ciśnieniowego (*pressure vessel*), pręty paliwowe wsunięte do rur o średnicy 8 centymetrów, wokół których krążyła woda (stąd w nazwie reaktora słowo *канальный* – kanałowy).

Dwie trzecie z eksploatowanych reaktorów w USA to reaktory PWR. Ponad 30% energii generowanej w świecie przez elektrownie jądrowe powstaje w USA.

Od początku stosowania reaktorów, w których kontrolowana reakcja łańcuchowa rozszczepiania jąder atomowych wytwarza energię, dzieli się je na **małe** i **duże**. Te pierwsze były potrzebne do poruszania silników okrętów wojennych (łodzi podwodne, lotniskowce) czy statków (lodołamacze). Granica pomiędzy małymi a dużymi nie jest precyzyjnie zarysowana, ale przyjmuje się moc 300 MW jako górną granicę mocy małych reaktorów jądrowych. Od początku budowano jeden i drugi typ, jednak okazało się już w latach 60. ubiegłego stulecia, że choć budowa małych reaktorów była tańsza, to ich eksploatacja, a zatem i cena wytwarzanej w nich energii, była wyższa niż w tych wielkich! Małe reaktory zbudowano w latach 60. zeszłego stulecia w ZSRR, USA, później budowano takie jednostki w Indiach, Chinach. Praktycznie wszystkie zostały zamknięte. Rozwój

reaktorów stosownych w cywilnych elektrowniach jądrowych przebiegał w kierunku coraz większych jednostek, do mocy około 2 GW (Francja).

Reaktory wymienione wyżej, będące ofertą handlową kilku firm z różnych krajów (między innymi AP1000, AP-14000, EPR) stanowią III Generację reaktorów. Detale techniczne nieistotne dla niniejszych rozważań umieszczają niektóre z nich w podkategorii III Generacja+.

Budowa elektrowni jądrowej z dużymi reaktorami okazała się jednak niezwykle trudnym przedsięwzięciem zarówno pod względem inżynierskim, jak i finansowym. W chwili obecnej, choć takie kraje jak Francja czy USA zachowały zdolności technologiczne budowy reaktorów, to tylko silnie wspierane przez państwo firmy rosyjskie, chińskie, japońskie, koreańskie posiadają zdolność wznoszenia dużych elektrowni jądrowych. Kłopoty z budową dużych bloków energetycznych nawet w krajach o tzw. wysokiej kulturze technicznej, będących często liderami w fizyce i inżynierii jądrowej, spowodowały, że zaczęto znowu poważnie rozważać koncepcję małych bloków energetycznych. Firmy z USA, Wielkiej Brytanii czy Argentyny rozpoczęły intensywne prace nad tzw. małymi reaktorami modularnymi (SMR – *small modular reactors*). Są to w sensie koncepcyjnym klasyczne reaktory (na ogół typu PWR) w znacznie pomniejszonej skali, z jedną zasadniczą różnicą konstrukcyjną w stosunku do dużych, otóż mają być budowane z prefabrykatów tworzonych w wyspecjalizowanych fabrykach. W zamierzeniu ich budowa ma być zatem po prostu łatwiejsza niż budowa dużych, ma polegać *de facto* na składaniu z gotowych elementów. Brytyjczycy wiążą z programem SMR duże nadzieje, upatrując w nim mechanizmu przełamania niemocy w tworzeniu cywilnych reaktorów jądrowych. Podkreślić wszakże należy, że **małe reaktory, modularne** to w najlepszym razie **prototypy**. Ich stosowanie komercyjne wymaga zatem długiej fazy badań, kalibrowania prototypu, stworzenia projektu inżynierskiego czyli tego wszystkiego, co jest niezbędne, żeby koncepcję, nawet zweryfikowaną prototypem, zamienić w **technologię** gotową do zastosowania.

Projekt SMR, zaliczany do tzw. IV Generacji, jest rozważany również z innego powodu, otóż mała skala zmniejsza ryzyka eksploatacyjne. Każda elektrownia jądrowa produkuje odpady radioaktywne (poddawane bombardowaniu neutronów paliwo jądrowe przekształca się w radioaktywny odpad). W przypadku stopienia się rdzenia (*coremelting*) cały ten odpad może przebić się przez betonowy fundament elektrowni i zatruć materiałem radioaktywnym o czasie połowkowego rozpadu mierzonym w tysiącach lat (czyli upłyną tysiące

lat zanim taki materiał ulegnie neutralizacji) wody gruntowe czy pobliski elektrowni akwen wodny (jak ma to miejsce w Fukushima w Japonii). Im mniej paliwa jądrowego tym mniejszy rozmiar potencjalnego skażenia. Zatem intensywne prace badawcze w USA, Wielkiej Brytanii, Argentynie, Chinach, Japonii trwają. Nie mamy jednak jeszcze do czynienia z gotową technologią. Podkreślmy zatem jeszcze raz, że dopiero w przyszłości będzie można zweryfikować, czy małe reaktory w nowej, modularnej odsłonie będą tańsze w eksploatacji niż ich poprzednicy z lat 60. i 70.

Tylko duże reaktory o mocy co najmniej 800 MW są technologicznie dojrzałe i sprawdzone w eksploatacji w cywilnych elektrowniach jądrowych.

Japończycy i Chińczycy poszli tropem większego bezpieczeństwa i od lat 90. zeszłego stulecia pracują nad małymi reaktorami typu HTGR, również zaliczanymi do IV Generacji. Pod Tokio zlokalizowano badawczy reaktor typu HTGR, w którym zastosowano paliwo jądrowe nowego typu (tzw. TRISO). Paliwo to charakteryzuje się tym, że kawałki uranu pokryte są materiałami będącymi słabymi przewodnikami ciepła w jednym kierunku, co powoduje, że rdzeń nie topi się nawet w sytuacji braku chłodziwa! Międzynarodowa Agencja Atomistyki, przyglądająca się temu projektowi od początku, zwraca uwagę na to, że ze względu na wyżej wskazaną cechę strefa zastrzeżona wokół reaktora będzie mogła być zasadniczo zmniejszona. Podkreślić trzeba, że w zamysle jego twórców taki reaktor został pomyślany nie jako środek wytwarzania prądu, ale jako urządzenie do wytwarzania pary wodnej, która ma być stosowana w reakcji **reformingu parowego** do wytwarzania wodoru. Należy więc myśleć o reaktorze HTGR raczej jako o kolejnym bloku ciepłowniczym dla ośrodków przemysłowych, a nie wielkoskalowym generatorze energii elektrycznej.

Jeszcze innym kierunkiem rozwoju elektrowni jądrowych, zaliczanym również do IV Generacji, jest używanie reaktorów na szybkie neutrony. Zużyte w innych reaktorach paliwo jądrowe staje się tu ponownie paliwem. Amerykańska firma GE (wspólnie z japońskim Hitachi) prowadzi w tej dziedzinie zaawansowane badania, których rezultatem jest prototyp reaktora, nazywany PRISM. Reaktory takie należy sklasyfikować jako „górną strefa” małych reaktorów. Zwróćmy uwagę, że nie są to jednak nawet w założeniach reaktory modularne.

Wielkim promotorem reaktorów IV Generacji (SMR, HTGR, PRISM) jest rząd USA. Jednak reaktory te są w najlepszym razie na etapie działających prototypów. Dodajmy też, że kwestia opłacalności sto-

sowania tych reaktorów, zwłaszcza w Polsce, jest co najmniej otwarta.

Podkreślić należy, że niezależnie od wszystkich problemów energetyka jądrowa rozwija się. Wydaje się, że tworząc ten komponent w polskim miksie energetycznym działać będziemy racjonalnie. W chwili obecnej na świecie buduje się elektrownie jądrowe, w których instalowane są duże reaktory jądrowe.

Liczba reaktorów budowanych w różnych krajach

Chiny	11	Białoruś	2	Argentyna	1
Indie	7	Japonia	2	Brazylia	1
Rosja	6	Pakistan	2	Finlandia	1
Korea Płd.	5	Słowacja	2	Francja	1
Emiraty Arabskie	4	Ukraina	2	Turcja	1
Bangladesz	2	USA	2	Wielka Brytania	1

#### 4. O tworzeniu w Polsce złożonych, zaawansowanych technologicznie rozwiązań

Jednym z dziedzictw komunizmu, które od 30 lat utrudniają rozwój Polski, jest brak umiejętności tworzenia i wdrażania złożonych rozwiązań, w których stosuje się różne zaawansowane, ale już dojrzałe technologie. To ostatnie oznacza niestety więcej niż tylko niski poziom innowacyjności naszego przemysłu, słabo działające mechanizmy przekładania wyników badań prowadzonych w instytutach badawczych i na uczelniach wyższych na konkretne technologie. W Polsce A.D.2019 nawet gdy technologia jest gotowa, sprawdzona, najczęściej niestety kupiona za granicą, to wdrożenie rozwiązania, w którym ta technologia jest stosowana, jest wyzwaniem. Przyczyny są różne, poczynając od specyficznie polskich interpretacji Prawa Zamówień Publicznych, opartego wszak na standardach unijnych, polegających na przykład na praktycznym zakazie tworzenia prototypu bazującego na różnych technologiach i opartego o badania tego prototypu poprawiania projektu inżynierskiego w trakcie wdrożenia, a kończąc na braku właściwego kształcenia inżynierów. Choć na polskich uczelniach istnieje kilka dobrych kierunków Inżynierii Produkcji, to generalnie przyszłych inżynierów czy naukowców nie uczy się w ogóle pracy w zespole przy realizacji jakiegoś większego niż praca dyplomowa przedsięwzięcia. Efekty tego stanu rzeczy są szczególnie widoczne w informatyzacji różnych instytucji publicznych. Pomimo że w Polsce pracuje prawie 100 tysięcy dobrych programistów i projektantów IT, pomimo że mnóstwo prywatnych firm (w tym banków) jest skutecznie wyposażonych w aplikacje stworzone w Polsce przez polskich inżynierów pracujących zgodnie z zachodnimi procedurami, to instytucje publiczne generalnie są słabo wyposażone w dobre aplikacje (co widać wyraźnie w europejskich rankingach IT in Government).

Kryteria wyboru technologii jakie należy stosować, by efektywnie wdrożyć rozwiązanie zaawansowane technologicznie.

Zatem rozpoczynając niezwykle złożone przedsięwzięcie inżynierskie należy stosować następujące kryteria wyboru technologii:

- Technologia powinna być dojrzała i sprawdzona – wybranie koncepcji popartej jedynie prototypem jest niezbyt dobrym pomysłem.
- Projekt inżynierski (techniczny) rozwiązania powinien być gotowy i wymagać już tylko adaptacji do lokalnych warunków; faza prototypowania nie powinna być potrzebna!
- Powinny istnieć sprawdzone metody prowadzenia projektów danego typu.
- Istnieć powinny firmy czy instytucje typu **inżynier kontraktu**, które mają doświadczenie we wdrażaniu danej technologii i z przeglądu rynku wynika, że byłyby zainteresowane uczestnictwem w przedsięwzięciu.
- Sprawdzić należy, czy dana technologia w jak najprostszy i oczywisty sposób pozwala zrealizować główny cel stawiany rozwiązaniu.

Poza wyżej wskazanymi kryteriami, w przypadku projektu o znaczeniu strategicznym w skali kraju, należy rozważyć podjęcie dodatkowych kroków związanych z ewentualnym wyborem technologii uzupełniających, które pozwalałyby na:

- kalibrację elementów głównego rozwiązania,
- szkolenie i kształcenie polskich inżynierów i naukowców w danej dziedzinie,
- rozwiązanie lokalnych problemów, dla których, ze względu na skalę, rozwiązanie główne nie jest adekwatne.

Podkreślić należy, że zważywszy na krajowe doświadczenia wynikające z wdrażania zaawansowanych technologicznie rozwiązań, realizacją przedsięwzięcia powinna zająć się firma specjalnego znaczenia (*special purpose vehicle*) działająca na podstawie specjalnych ustaw.

## 5. Polityka!

Decyzja o budowie energetyki jądrowej ma charakter polityczny. Po pierwsze większość państw, wśród przesłanek branych pod uwagę w kontekście cywilnych projektów jądrowych, rozważa, czy efektem dodatkowym określonych wyborów technologicznych jest pozyskanie zdolności wzbogacania uranu. Ta ostatnia zdolność jest niezbędna do stworzenia broni jądrowej. Polityczne uwikłania energetyki jądrowej się na tym nie kończą. Kraje posiadające technologię i zdolność tworzenia elektrowni jądrowych można pogrupować następująco:

- 1) demokracje typu zachodniego (Francja, Wielka Brytania, Włochy),
- 2) USA,
- 3) kraje azjatyckie (Korea, Japonia, Indie),
- 4) Rosja,
- 5) kraje neutralne (Argentyna),
- 6) Chiny.

Staje się więc oczywistym, że wybór technologii jądrowej, to również opowiedzenie się za pewną koncepcją funkcjonowania państwa. Polska w sposób naturalny winna zdecydować się na zakup technologii wytworzonej w jednej z dwóch pierwszych grup. Zakup technologii jądrowych oznacza związanie się z partnerem oferującym technologię na dziesiątki lat. Kraje duże, jak na przykład Indie, posiadające własne technologie jądrowe, mogą sobie pozwolić na dywersyfikację dostawców, podczas gdy kraj wielkości Polski winien się skoncentrować na jednym dostawcy, którego wybór wzmocni bezpieczeństwo, narodowe *sensu largo*, nie tylko energetyczne.

Budowa elektrowni jądrowych jest traktowana przez większość krajów jako mechanizm do poszerzania swojej sfery wpływów, co za tym idzie, państwa są gotowe silnie subsydiować własne firmy budujące elektrownie w innych krajach. Poziom takiego wsparcia finansowego winien być brany pod uwagę przez kraj-odbiorcę podczas dokonywania wyboru konkretnej technologii.

Ze względu na fakt, że Polska jako członek Unii Europejskiej oraz sygnatariusz konwencji Euroatom musi uzyskać zatwierdzenie swych wyborów i planów jądrowych przez odpowiednie instytucje Unii Europejskiej, potencjalny dostawca spoza Unii Europejskiej musi wyrazić gotowość na taką formę zaangażowania, która uczyniłaby proces zatwierdzenia wykonalnym.

## 6. Wybór reaktora jądrowego dla Polski

Wziąwszy pod uwagę przesłanki natury politycznej, których wagę podkreślono w poprzednim rozdziale, powinno się rozważać firmy z USA jako dostawcę potrzebnych technologii jądrowych. Przyjmując zatem, że głównym dostawcą technologii jądrowej będą USA, należy dokonać wyboru, czy tworzymy energetykę jądrową stosując:

- reaktory III Generacji + (patrz rozdział 3),
- reaktory IV Generacji (patrz rozdział 3),
- jedno i drugie.

Bloki jądrowe o mocy około 1 GW to optymalne rozwiązanie do rozpoczęcia budowy energetyki jądrowej w Polsce.

Reaktory budowane w technologii AP1000

Kraj	Elektrownia	Liczba reaktorów	Budowa	Data uruchomienia
Chiny	Sanmen NPP, Zhejiang	1	ukończona	02.07.2018
Chiny	Sanmen NPP, Zhejiang	2	ukończona	24.08.2018
Chiny	Haiyang NPP, Shandong	1	ukończona	22.11.2018
Chiny	Haiyang NPP, Shandong	2	ukończona	09.01.2019
USA	Vogtle, Georgia	3	kontynuowana	nie ustalona?
USA	Vogtle, Georgia	4	kontynuowana	nie ustalona?
USA	VC Summer, South Carolina	Unit 2	zawieszona	brak informacji
USA	VC Summer, South Carolina	Unit 3	zawieszona	brak informacji

Zważywszy na kryteria wyboru technologii wskazane w rozdziale 4, jak i fakt, że już kilka bloków opartych na reaktorach jądrowych o mocy około 1 GW pozwoliłyby zrealizować „atomowy” scenariusz rozwoju naszej energetyki wskazany w dokumencie Polityka Energetyczna Polski (patrz rozdział 2), to wybór dużych reaktorów jako podstawy naszej przyszłej energetyki jądrowej wydaje się optymalny.

Firma Westinghouse dysponuje nowoczesnym rozwiązaniem o nazwie AP1000 (reaktor należący do Generacji III+), które można uznać za dojrzałą i sprawdzoną w praktyce technologię, co dobrze pokazuje poniższe zestawienie.

Co więcej, istnieją doświadczone firmy oferujące wdrożenie tej technologii, w tym polscy dostawcy. Wstępne oceny wskazują, że polskie firmy mogą dostarczyć do 88% elementów składających się na elektrownię jądrową. Istnieje sprawdzona metoda wdrażania elektrowni jądrowej stworzona przez IAEA (International Atomic Energy Agency) zaprezentowana m.in. w dokumencie Milestones in the Development of National Infrastructure for Nuclear Power. Tak więc jeśli firma kierująca wdrożeniem AP1000 byłaby gotowa:

- dopasować i uzgodnić własną metodykę z wzorcową, wytworzoną przez IAEA,
- uzgodnić ze stroną polską taką formułę współpracy, która umożliwiłaby zatwierdzenie budowy reaktorów w tej technologii w instytucjach Unii Europejskiej,

to wybór konstrukcji AP1000 można by uznać za dokonany.

Przypomnijmy, że w rozdziale 4 wśród kryteriów dokonywania wyboru odpowiedniej technologii jest kryterium mówiące o braniu pod uwagę tylko konstrukcji sprawdzonych w eksploatacji przemysłowej. Jego zastosowanie eliminuje użycie reaktorów IV Generacji do budowy fundamentu naszej energetyki jądrowej. Wskazać wszakże należy, że o ile reaktory dużej mocy wpisują się w scenariusz pełniejszego zróżnicowania środków wytwarzania prądu przy jednoczesnym zmniejszaniu spalania węgla w gospodarce, to nie rozwiązują wielu lo-

kalnych problemów energetycznych o małej skali (jeśli mierzonej w MW, to nie przekraczających 200 MW). Do takich celów stosowanie reaktorów klasyfikowanych jako IV Generacja wydaje się zasadne. Na przykład, gdy mówimy o dostarczaniu energii cieplnej dla małego miasta czy ośrodka przemysłowego, to można rozważyć, prowadzony równoległe do dużego programu jądrowego, projekt zbudowania najbardziej dojrzałego spośród kategorii SMR, małego reaktora typu HTGR, zwłaszcza że ze względu na stosowane paliwo jądrowe jest on w naturalny sposób bezpieczny (*intrinsic safety*), co może mieć znaczenie dla małych społeczności. Takie małe przedsięwzięcie (w stosunku do głównego, jakim jest budowa elektrowni opartych na dużych reaktorach) przyczyniłoby się dodatkowo do lepszego uformowania kadr inżynierów jądrowych, jak i pozwoliłoby na testowanie pewnych szczegółowych rozwiązań stosowanych w głównym przedsięwzięciu. O ile technologicznie projekt HTGR w wersji oferowanej przez Japan Atomic Energy Agency jest dojrzały i przetestowany w warunkach laboratoryjnych, to brak ciągle konkretnego wdrożenia przemysłowego, a zatem wykonanie tego wdrożenia wymaga m.in. przygotowania odpowiedniego projektu technicznego. Pomimo małej skali tego japońskiego reaktora w stosunku do reaktora typu AP1000 należy zakładać, że w warunkach polskich, perspektywa wdrożenia przemysłowego reaktora typu HTGR jest bardziej odległa niż wdrożenie dwóch dużych bloków typu AP1000, zwłaszcza gdy wdrożenie tego ostatniego będzie się odbywać z udziałem firmy posiadającej odpowiednie doświadczenie i umiejętności (tzw. inżyniera projektu). Innym obszarem wykorzystania w przyszłości reaktorów IV Generacji jest zastosowanie reaktorów PRISM (patrz rozdział 3) do utylizacji zużytego paliwa jądrowego pochodzącego z już funkcjonujących dużych reaktorów (polskich i zagranicznych).

Póki co stosowanie reaktorów IV Generacji ma charakter bardziej badawczo-rozwojowy niż przemysłowy. W warunkach polskich charakter przemysłowy mogą mieć w najbliższej dekadzie tylko reaktory należące do III Generacji+.