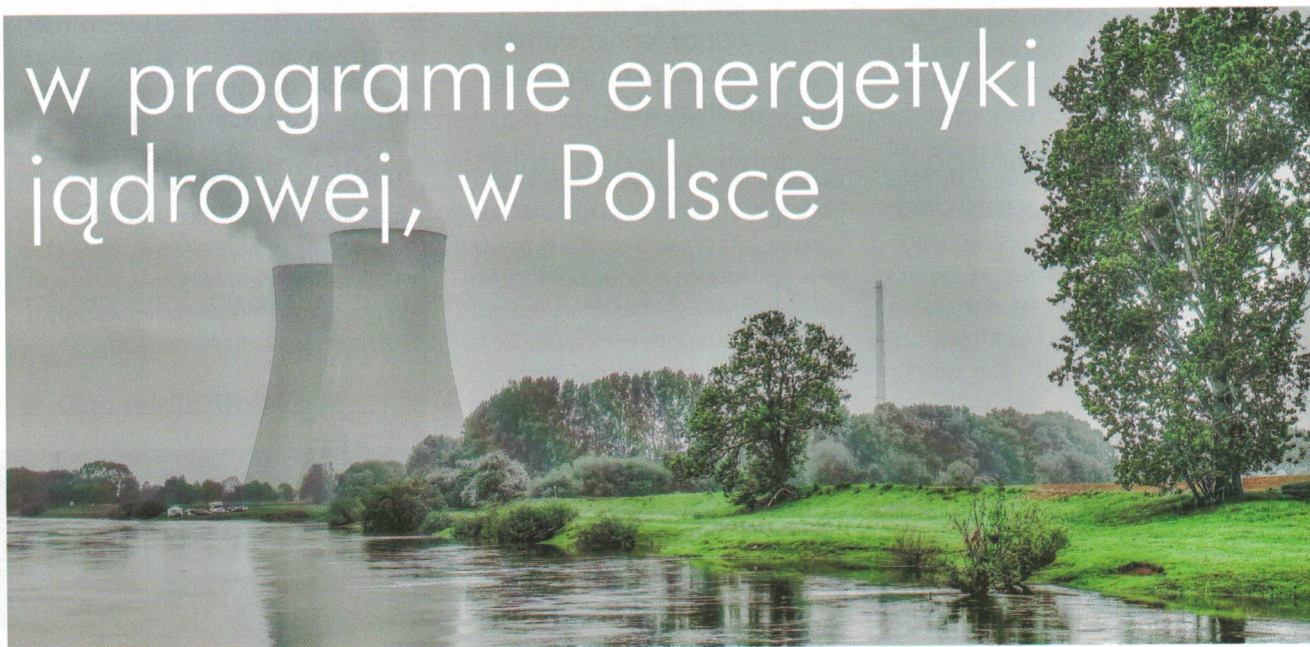


Ludwik Pieńkowski, Katarzyna Skolik, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energii i Paliw

Miejsce modułowych reaktorów małej mocy

w programie energetyki jądrowej, w Polsce



Fot. PIXABAY.COM

PALIWA DLA ENERGETYKI

Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ)¹ ma wymiar istotny dla gospodarki. Jego celem jest włączenie do krajowego systemu elektroenergetycznego elektrowni jądrowej o mocy powyżej 1000 MW w 2025 r. (lub kilka lat później), a docelowa moc energetyki jądrowej ma wynosić 6000 MW. W programie przyjętym przez rząd, w styczniu 2014 r., za referencyjny koszt inwestycji przyjęto 4000 €/kW, a jednostkowy koszt wytwarzania energii elektrycznej na poziomie 86 €/MWh.

Tymczasem programy budowy elektrowni jądrowych w Finlandii² i we Francji³ obciążone są znacznymi opóźnieniami, ich koszty stale rosną i są znacznie wyższe od pierwotnych szacunków. Warto też zwrócić uwagę na losy planowanej elektrowni Hinkley Point C o mocy 3200 MW z dwoma reaktorami EPR. Dziś szacunkowe koszty budowy

przekraczają 18 mld £ (około 6500 €/kW), a długoterminowy kontrakt różnicowy na zakup energii to kwota 92,5 £ za jedną megawatogodzinę (około 105 €/MWh). Decyzja o budowie elektrowni była wielokrotnie odkładana, a pierwotnie elektrownia ta miała zostać uruchomiona w 2017 r.⁴ Główny inwestor, firma EDF, podjęła decyzję o budowie dopie-

ro w końcu lipca 2016 r., a w połowie września 2016 r. decyzja ta została zaakceptowana przez rząd Wielkiej Brytanii⁵. Obecnie widać, że potężny program chińskiej energetyki jądrowej, bazujący między innymi na francuskich technologiach reaktorowych, nie ma przełożenia na dynamikę rozwoju tego sektora w Europie.

■ Bariery inwestycyjne w Europie

Wysokie i stale rosnące szacunkowe koszty, i znaczne ryzyko przekroczenia terminu realizacji są zasadniczym powodem trudności przy uruchomieniu inwestycji w Hinkley, co zmusza do szerszej refleksji. Z jednej strony widać znaczne trudności, a z drugiej, że inwestycja ta ma istotne znaczenie dla Wielkiej Brytanii, Chin i Francji - państw z grupy G20, mających doświadczenie w energetyce jądrowej, która stanowi też zaplecze kadrowe i technologiczne dla ich systemów broni jądrowej i floty okrętów o napędzie atomowym. Musi zatem paść pytanie o szanse powodzenia budowy elektrowni jądrowych w europejskich państwach biedniejszych, nieposiadających broni jądrowej i bez doświadczenia w energetyce jądrowej. Co więcej, w Europie, w okresie ostatnich dwudziestu lat brak jest sukcesów w budowie nowych elektrowni jądrowych. Wystarczy przytoczyć fakt, że Bułgaria wycofała się z projektu jądrowego⁶, Litwa go zawiesiła, a na Białorusi, w trakcie budowy reaktora VVER, zaszła konieczność wymiany zbiornika reaktora. Podsumowując widać, że wysokie koszty i duże ryzyka wymagają przemyślenia założeń i celów programu energetyki jądrowej w Polsce.

■ Redukcja kosztów przy wykorzystaniu współczesnych reaktorów

Konieczność zredukowania kosztów reaktorów EPR jest w szczególności dobrze rozumiana we Francji, gdzie w połowie 2015 r. AREVA i EDF ogłosiły, że prowadzą prace nad reaktorem „EPR NM” (*EPR Nouvelle Modèle*) o uproszczonej konstrukcji i znacznie zmniejszonych kosztach budowy i eksploatacji. Projekt „EPR NM” jest zaawansowany w 30% i ma być podstawą zastępowania starzejących się francuskich reaktorów energetycznych⁷. Inni dostawcy reaktorów też niewątpliwie podejmują działania

celem zmniejszenia kosztów. Firmom Westinghouse z reaktorami AP1000 i KEPCO z reaktorami APR1400 sprzyjają sprawnie prowadzone inwestycje odpowiednio w USA i Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Jednak najbardziej atrakcyjnych ofert należy spodziewać się z Chin, o czym świadczą ich starania w sprawie budowy elektrowni w Bradwell, w Wielkiej Brytanii⁸.

Skorzystanie w Polsce z takich opcji może jednak napotkać trudności. Po pierwsze, oferty spoza Europy, USA, Kanady, Korei, Japonii mogą budzić wątpliwości polityczne. Podobnie jest w Wielkiej Brytanii, gdzie w trakcie procesu akceptacji projektu w Hinkley, w którym Chiny mają 33% udziału, podnoszono kwestię zachowania kontroli rządu nad infrastrukturami o znaczeniu strategicznym⁹. Druga przeszkoda wynika z konieczności uzyskania pozwolenia na budowę reaktora, którą w Polsce wydaje Państwowa Agencja Atomistyki (PAA). Standardowo proces licencjonowania podzielony jest na kilka etapów, w tym na prace przedlicencyjne i właściwy proces prowadzący do wydania pozwolenia na budowę. W procesie przedlicencyjnym, nazywanym też *Generic Design Assessment* (GDA) oferent technologii poddaje wstępnej ocenie swój projekt. Niestety, w Polsce nie ma regulacji prawnej wymagającej uruchomienia GDA. Prawo Atomowe nakazuje PAA uruchomienie procesu licencjonowania na wniosek inwestora po sporządzeniu wstępnego raportu bezpieczeństwa¹⁰, a inwestor może go wykonać jedynie dla wybranej lokalizacji i wybranego typu reaktora. Ustawodawca zobowiązuje PAA do przeprowadzania wstępnej oceny lokalizacji elektrowni jądrowej na wniosek inwestora, ale nie umieścił odpowiedniego zapisu w sprawie wydania wstępnej oceny samego reaktora. Ta ułomność Prawa Atomowego utrudnia inwestorowi wybór technologii oraz wzmacnia przewagę konkurencyjną reaktorów EPR firmy AREVA. Reaktory te uzyskały już pozwolenie na budowę

w Finlandii, Francji, Chinach, Wielkiej Brytanii i dziś trudno oczekiwać, aby PAA w procesie licencjonowania postawiła jakąś trudną kwestię wymagającą długotrwałych i kosztownych badań. W krajach Unii Europejskiej wśród innych reaktorów najbliższej uzyskania pozwolenia na budowę jest reaktor AP1000 w Wielkiej Brytanii¹¹ oraz rosyjski reaktor VVER w Finlandii i na Węgrzech. Warto dodać, że reaktory te uzyskały już pierwotne licencje odpowiednio w USA i Rosji, i są budowane poza Unią Europejską. Dziś trudno oszacować, ile czasu zajmie PAA wydanie pozwolenia na budowę, ale przez brak GDA zapewne zmarnowaliśmy kilka lat. Należy też podkreślić, że PAA współpracuje z narodowymi regulatorami w USA, Francji i innych krajach mających znaczne doświadczenie w energetyce jądrowej, jest aktywna na arenie międzynarodowej, ale nie uczestniczy jeszcze w pracach międzynarodowej platformy współpracy narodowych regulatorów o nazwie *Multinational Design Evaluation Programme* (MDEP)¹², gdzie prowadzone są prace wspierające licencjonowanie takich reaktorów jak: EPR, AP1000, APR1400, VVER, ABWR.

■ Redukcja kosztów przy wdrożeniu nowych modeli reaktorów

Warto zbadać szanse wejścia na światowy rynek nowych modeli reaktorów jądrowych, innych niż dostępne dziś reaktory dużej mocy, ale spełniających następujące warunki:

1. Ich bezpieczeństwo musi, co najmniej, dorównywać bezpieczeństwu obecnie dostępnych reaktorów, takich jak reaktory EPR, AP1000, APR1400, CANDU 6, ABWR/ESBWR
2. Koszty budowy i eksploatacji nowych modeli powinny być małe, mieścić się w granicach szacunków z 2014 r. (inwestycja 4000 €/kW_{el}, energia elektryczna 86 €/MWh)
3. Finansowanie programu budowy

powinno opierać się o zasoby polskiego sektora energetycznego i energochłonnego z wykorzystaniem standardowych mechanizmów wsparcia, takich jak gwarancje rządowe oraz długoterminowe kontrakty różnicowe

4. Projekty nowych modeli reaktorów muszą być na tyle zaawansowane, aby wynikiem ich wdrożenia było uruchomienie bloku energetycznego w krótkiej perspektywie czasu, maksymalnie 15 lat, co wynika z poprzedniego warunku.

Tak postawione kryteria spełniają jedynie dwie koncepcje reaktorów modułowych małej mocy, z blokami o mocy elektrycznej mniejszej niż 300 MW:

1. Zintegrowane lekkowodne modułowe reaktory małej mocy nazywane iPWR-SMR. Niestety, często nazywane są skrótowo SMR, co jest mylące, bo skrót SMR obejmuje wiele technologii;
2. Wysokotemperaturowe modułowe reaktory chłodzone helem nazywane HTR lub HTGR. Ich dostępność wynika z rozwoju programu chińskiego, gdzie za rok ma zostać uruchomiona pierwsza instalacja przemysłowa o mocy elektrycznej 210 MW.

■ Lekkowodne zintegrowane modułowe reaktory małej mocy, iPWR-SMR

Rozmach programów iPWR-SMR, szczególnie w USA wskazuje, że warto rozważyć szanse wdrożenia tej technologii w Polsce, uruchomienia pierwszego reaktora przed 2030 r. i wybudowania jednej lub dwóch elektrowni, każda o mocy elektrycznej około 600 MW, w perspektywie końca lat trzydziestych. Aby osiągnąć tak nakreślony cel należy już dziś przyrzeć się zaawansowanym projektom reaktorów iPWR-SMR, które są opracowywane między innymi w USA, Chinach, Rosji, Korei i Argentynie. Można zatem wybrać strategię działań wolną od wątpliwości politycz-

nych oraz oprzeć ją o proces uzyskania licencji wtórnej, wzorowanej na wynikach prac doświadczonego regulatora.

Wybór reaktorów iPWR-SMR oparty jest o szereg analiz oraz o praktyczne działania podejmowane w najsilniejszych krajach. Należy tu przytoczyć opracowanie brytyjskie z grudnia 2014r.¹³, gdzie rekomendowane są jedynie lekkowodne reaktory iPWR-SMR:

Discussions with AREVA revealed that they were no longer considering the HTR Antares design and although they are considering an alternative PWR SMR design, they are not planning to proceed with this within the timeframe of this study. As a consequence the AREVA option was discounted from further investigation. Discussions with U-Battery [NCBJ planuje go budować, patrz niżej] identified that their design was targeted at a different market and potentially in a longer timescale.

W ślad za tym opracowaniem, w Wielkiej Brytanii uruchomiono program naukowo-badawczy o budżecie 250 mln £¹⁴, obejmujący różne technologie reaktorów SMR i kreślona jest strategia działań zmierzających do uruchomienia pierwszego reaktora iPWR-SMR do 2030 r.¹⁵.

Podobnie jest w USA, gdzie jedynie reaktory iPWR-SMR mają wsparcie ze środków publicznych celem uzyskania licencji¹⁶. Inne koncepcje technologiczne wspierane są w USA tylko w ramach programów naukowo-badawczych, a aktywność licencyjna ogranicza się do organizacji spotkań i seminariów¹⁷. Licencjonowanie reaktorów iPWR-SMR jest zadaniem trudnym, mimo iż reaktory te bazują na opanowanej technologii reaktorów lekkowodnych. Ilustruje to historia reaktora NuScale¹⁸ w USA, którego ideę zarysowano w 2003 r., jego projekt koncepcyjny powstał w 2008 r. i wówczas uruchomiono proces przedlicencyjny. W grudniu 2016 r. firma NuScale ma przedstawić regulatorowi dokumenty otwierające drogę do wydania pozwolenia na budowę, a uruchomienie

reaktora planowane jest w 2024 r.¹⁹. Należy podkreślić, że prace nad reaktorem NuScale mają pełne wsparcie finansowe, gdyż w 2011 głównym inwestorem NuScale został koncern chemiczny FLUOR, a w 2013 projekt uzyskał wsparcie ze środków publicznych na przeprowadzenie procesu licencjonowania.

Podobne wnioski o wyborze reaktorów iPWR-SMR płyną z raportu OECD-NEA²⁰, który opublikowano we wrześniu 2016 r.:

Only short- to medium-term projections (2020-2035) and mature technologies (i.e. SMRs based on light water reactor technologies) were considered in the study, and factors influencing the SMR market throughout the world were examined.

Należy podkreślić, że program wdrożenia reaktorów małej mocy jest atrakcyjny dla współczesnej energetyki z kilku względów, a w tym:

1. Koszt inwestycji o małej mocy jest w zasięgu wielu inwestorów;
2. Mała moc bloków odpowiada wizji rozwoju sieci elektroenergetycznych, które w coraz większym stopniu mają za zadanie włączyć do systemu małe elektrownie;
3. Mała moc reaktorów umożliwia ich lokalizowanie tam, gdzie istnieją potrzeby energetyczne i środowiskowe (obszary uprzemysłowione), a nie tam, gdzie najkorzystniejsze są warunki do wytwarzania energii elektrycznej w dużych elektrowniach jądrowych (plaże nasze-go wybrzeża);
4. Reaktory te mogą być wykorzystane do zastępowania wyeksploatowanych bloków węglowych o mocach 200-300 MW. Jest to ważny problem polskiej gospodarki, ale też gospodarki w USA. Okazuje się, że nawet w USA, przy niskich cenach gazu, nie wszędzie jest opłacalne zastąpienie tych bloków blokami gazowymi. Rezygnacja z tych lokalizacji też jest kosztowna, bo dysponują one odpowiednią infrastrukturą.

■ Reaktory wysokotemperaturowe typu HTR

Wyjaśnienia wymaga zagadnienie, dlaczego reaktory HTR dziś są dostępne jedynie z Chin, mimo iż nad tą technologią w Europie i USA pracowano przez ostatnie 50 lat. Chińczycy na początku lat 90. ubiegłego wieku sprowadzili z Niemiec technologię reaktorów wysokotemperaturowych HTR. W 1995 r. rozpoczęli budowę testowego reaktora o mocy cieplnej 10 MW i uruchomili go już w 2000 r.²¹. Tak szybkie tempo było możliwe, gdyż prace licencyjne ograniczono do akceptacji dokumentacji niemieckiej, gdzie testowe i energetyczne reaktory HTR pracowały przez przeszło ćwierć wieku, aż do 1989 r. Obecnie Chińczycy kończą budowę zespołu dwóch reaktorów energetycznych typu HTR, każdy o mocy cieplnej 250 MW i ich uruchomienie planowane jest w 2017 r. Widać, że mimo iż startowali od dojrzałego projektu reaktora testowego, to na zbudowanie prototypowego reaktora energetycznego potrzebowali niemal ćwierć wieku.

Reaktory typu HTR w istocie swojej koncepcji niosą bardzo atrakcyjne obietnice w obszarze bezpieczeństwa (duża pojemność cieplna, ceramiczne paliwo odporne na wysokie temperatury) i biznesu (wysoka temperatura helu 750 °C i moc ograniczona do kilkuset megawatów otwierają wiele zastosowań kogeneracyjnych). Dlatego też wielokrotnie i w wielu miejscach podejmowano próby ich komercyjnego wdrożenia²². W USA pierwsza próba trwała ćwierć wieku i zakończyła się porażką biznesową. W 1966 r. uruchomiono reaktor testowy, który potwierdził obietnice koncepcji reaktorów HTR. W 1976 r. uruchomiono pierwszą elektrownię, ale ze względów biznesowych zamknięto ją w 1989 r.²³. Mimo tak bolesnej porażki w 2005 r., w USA po raz drugi podjęto wyzwanie wdrożenia reaktorów HTR uruchamiając na mocy *Energy Policy Act 2005*

projekt Next Generation Nuclear Plant (NGNP). Na jego realizację w latach 2006-2015 przewidziano ponad miliard dolarów²⁴. Projekt NGNP stracił wysokie finansowanie ze źródeł publicznych w 2012 r. i amerykański regulator *Nuclear Regulatory Commission (NRC)* zawiesił proces jego licencjonowania w 2013 r.²⁵. W lipcu 2014 r. NRC przesłała do Departamentu Energii list stwierdzający, iż dalsze prace licencyjne wymagają znacznego wysiłku²⁶:

Further progress on an appropriate regulatory approach for advanced reactors will likely require more fully-developed reactor designs, more fuel-related research, and further analysis of the value of emergency preparedness features.

Jak dotąd prac licencyjnych nad reaktorem dla projektu NGNP nie wznowiono. Co więcej Departament Energii w USA wydaje się, że widzi rozwój reaktorów HTR w długofalowej perspektywie i wspiera jedynie prace badawczo-rozwojowe nad reaktorem paliwem ceramicznym²⁷ oraz rozwój projektu reaktora Xe-100 firmy X-Energy²⁸. W styczniu 2015 r. firma ta uzyskała pięcioletnie wsparcie w wysokości 40 mln \$, aby zrealizować następująco postawiony cel²⁹:

The projects announced today will allow industry led teams, which include participants from universities and national laboratories, to further nuclear energy technology, and will enable companies to further develop their advanced reactor designs with potential for demonstration in the 2035 timeframe.

Na przełomie wieków również poza Chinami i USA podjęto próby wdrożenia HTR-ów, między innymi w RPA³⁰, Japonii, Korei i Europie³¹. W RPA program zakończył się w 2010 r. na poziomie zaawansowanego projektu, w Japonii na uruchomieniu testowego reaktora, który pracował kilkanaście lat, aż do katastrofy w Fukushima, w 2011 r. i wykonaniu wstępnego projektu reaktora energetycznego. Działania w Korei i Europie nigdy nie wyszły poza poziom projektów badaw-

czych. W Europie znaczna ich część była i jest współfinansowanych przez EURATOM. Podejmowano wysiłki, również w Polsce, aby programowi nadać charakter wdrożeniowy celem wybudowania reaktora energetycznego HTR w którymś z krajów europejskich. W Polsce, w ramach realizacji programu HTRPL³² zaniechano tych działań w 2014 r. po porzuceniu prac nad licencją dla projektu NGNP w USA.

Wydaje się, że dziś w obszarze reaktorów wysokotemperaturowych typu HTR twarde podstawy technologiczne, legislacyjne i biznesowe mają programy oparte na ścisłej współpracy z Chinami. Dlatego też w 2016 r. z Chinami zawarły umowy Arabia Saudyjska³³ oraz Indonezja³⁴. Z drugiej jednak strony warto pamiętać, że każda próba wkroczenia chińskiej energetyki jądrowej do euroatlantyckiej przestrzeni gospodarczej może budzić wątpliwości polityczne, co już zostało poruszone.

Tymczasem od maja 2016 r. rząd polski wspiera innego rodzaju program wdrożenia reaktorów HTR. Jego osią jest zbadanie możliwości wybudowania w Świerku reaktora testowego HTR o mocy cieplnej 10 MW w oparciu o wstępny projekt *U-battery*³⁵, dla którego początek licencjonowania planuje się w 2018 r.³⁶. Drugi element rządowego planu zamieszczono w dokumencie Ministerstwa Rozwoju z 29 lipca 2016 r.: *Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju - projekt do konsultacji społecznych*³⁷. Wśród projektów strategicznych przewidzianych do przygotowania i realizacji do roku 2020 wymieniono:

Kogeneracja jądrowa - przygotowanie do budowy pierwszego reaktora HTR o mocy termicznej 200-350 MW zasilającego instalację przemysłową w ciepło technologiczne.

Niestety brakuje jakiegokolwiek merytorycznego opracowania uzasadniającego podjęcie przez rząd tej decyzji o strategicznym wymiarze. Z dotychczasowych doświadczeń, w tym z programu chińskiego, wiadomo że droga

od wstępnego projektu reaktora testowego i koncepcji reaktora energetycznego do uruchomienia pierwszego reaktora energetycznego jest bardzo długa. Według niedawnego raportu Departamentu Energii w USA dla nowego, innego niż lekkowodny, reaktora wymaga ona około 10 mld \$ nakładów i ćwierć wieku wysiłków³⁸. Wyzwaniem jest samo uruchomienie procesu licencjonowania, gdyż Ustawa Prawo Atomowe w Artykule 36b stwierdza:

W projekcie i procesie budowy obiektu jądrowego nie stosuje się rozwiązań i technologii, które nie zostały sprawdzone w praktyce, w obiektach jądrowych lub za pomocą prób, badań oraz analiz.

Kwestią interpretacji jest możliwość wydania pozwolenia na budowę reaktora, który nigdzie nie jest eksploatowany ani nigdzie nie uzyskał jeszcze pozwolenia na budowę, ale na pewno podjęcie starań o uzyskanie licencji pierwotnej jest wyzwaniem. Prawdopodobnie ponad nasze siły, co ma odzwierciedlenie w Art. 39.2.1 Ustawy Prawo Atomowe stwierdzającym, że opłata za wydanie pozwolenia na budowę elektrowni jądrowej wynosi jedynie 5 mln zł, co uniemożliwia wydanie licencji pierwotnej. Wiadomo też, że w ciągu ostatnich 25 lat licencją pierwotną energetycznego lub testowego reaktora jądrowego wydano jedynie w kilku krajach takich jak USA, Chiny, Francja, Kanada, Rosja, Korea, Japonia, Argentyna i jedynie kilka dalszych państw takich jak Wielka Brytania, Szwecja, Finlandia posiada odpowiedni potencjał.

W końcu podjęcie dziś przez Polskę wyzwania konkurowania z Chinami na polu reaktorów HTR wydaje się skazane na niepowodzenie, bo trudno nadgonić 25 lat opóźnienia w sytuacji, gdy Chiny dysponują niemal nieograniczonymi zasobami i gdy ich energetyka jądrowa ma niezachwiane wsparcie rządu.

■ Wnioski

W świetle globalnych wyzwań i słabej dynamiki programu energety-

ki jądrowej, w Polsce najważniejszym zadaniem jest pozyskanie wiedzy biznesowej przez polski przemysł oraz budowanie zdolności decyzyjnych regulatora, czyli PAA. Dopiero wówczas będzie możliwe wyznaczenie celów inwestycyjnych, zaplanowanie jaka moc, kiedy i w jakiej technologii ma zasilać polską gospodarkę. Należy podkreślić, że niedawna strategiczna decyzja rządu w sprawie uruchomienia prac nad wdrożeniem w Polsce reaktorów wysokotemperaturowych typu HTR została podjęta bez merytorycznej debaty i uzasadnienia.

Wyboru najlepszych dla Polski rozwiązań można dokonać poprzez uruchomienie prac przedlicencyjnych typu *Generic Design Assessment* (GDA), prowadzących do wydania wstępnej oceny technologii reaktorowych przez PAA. Dzięki temu dla każdej z rozważanych opcji zostanie zarysowany zakres prac koniecznych do wydania licencji, ich koszt i czas realizacji. Uruchomienie takiej procedury wymagałoby wspólnej inicjatywy zagranicznego dostawcy technologii i krajowego, potencjalnego inwestora. Dobrze zaplanowany proces GDA wymaga również odpowiedniego systemu wsparcia. Ważne jest, aby był to proces transparenty, otwarty i atrakcyjny, zarówno z punktu widzenia państwa, potencjalnego inwestora, jak i dostawcy technologii.

Powyższe cele można osiągnąć poprzez odpowiednio przeprowadzony konkurs ofert. Transparentność i otwartość konkursu oznacza, między innymi, dopuszczenie ofert bazujących na dowolnej technologii oraz bez żadnego ograniczenia mocy reaktora energetycznego. Potencjalny inwestor z realizacji programu powinien wynieść wiedzę biznesową w obszarze proponowanego projektu i szeroko rozumianej energetyki jądrowej. Oferent technologii uzyska wsparcie w budowaniu rynku zbytu swojego produktu. Natomiast korzyścią państwa będzie zdobycie wiedzy i zdolności decyzyjnych regulatora, niezbędnych warunków dla powodzenia programu inwe-

stycyjnego. Jednym z zadań procesu GDA powinno być włączenie do niego polskich instytucji naukowych, które od lat budują swoją kompetencję w energetyce jądrowej, jak również polskich firm inżynierskich i technologicznych. W czołowych uczelniach technicznych, takich jak Politechnika Warszawska, Politechnika Śląska i Akademia Górniczo-Hutnicza od lat prowadzone jest kształcenie na poziomie magisterskim i doktoranckim w energetyce jądrowej. Uczelnie, jak również instytuty badawcze, w tym Narodowe Centrum Badań Jądrowych NCBJ Świerk oraz Instytut Chemii i Techniki Jądrowej uczestniczą w programach badawczych EURATOM dedykowanych rozszczepieniowej energetyce jądrowej i dzięki temu polska nauka może wnieść wartość w realizację proponowanego mechanizmu GDA. Należy też podkreślić, że dzięki wysiłkowi uczelni i instytutów badawczych możliwe było wzmocnienie kadrowe PAA. Natomiast udział firm inżynierskich i technologicznych jest ważny, gdyż zwiększa to szanse na wejście tych firm do światowego rynku dostawców dla energetyki jądrowej. Osiągnięcie tego uzupełniającego celu jest prawdopodobne, gdyż właśnie teraz budowane są zręby globalnego łańcucha dostawców dla modułowych reaktorów małej mocy iPWR-SMR. Koszt zarysowanego procesu GDA przy standardowym wsparciu państwa 50/50 można określić na 20 do 200 mln zł, czas realizacji na 3 do 5 lat, w zależności od założonej wielkości i dynamiki programu. Ten zgrubny szacunek wynika też z odniesienia do amerykańskiego programu wspierającego prace przedlicencyjne, którego celem jest wydanie pierwotnej licencji dla reaktorów iPWR-SMR³⁹.

Tak zarysowany program umożliwi zdobycie wiedzy potrzebnej do określenia miejsca modułowych reaktorów małej mocy w programie energetyki jądrowej, w Polsce. □

- 1) Uchwała nr 15/2014 Rady Ministrów z dnia 28 stycznia 2014 r. w sprawie programu wieloletniego pod nazwą Program polskiej energetyki jądrowej
<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WMP2014000502>
- 2) Nuclear expansion: fifth unit, Olkiluoto 3
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx>
- 3) Building new nuclear capacity: Flamanville 3
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>
- 4) Hinkley Point C finally gets green light as Government approves nuclear deal with EDF and China
15 September 2016
<http://www.telegraph.co.uk/news/2016/09/15/hinkley-c-finally-gets-green-light-after-revised-agreement-with/>
February 2007, EDF: New nuclear "by Christmas 2017". French nuclear energy giant EDF says it hopes to build Britain's first new nuclear power plant in a generation in time to provide electricity for Britons to cook their Christmas turkeys in 2017.
EDF Energy - Hinkley Point C and Sizewell C
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/united-kingdom.aspx>
- 5) UK government gives go-ahead for Hinkley Point C, 15 September 2016
<http://www.world-nuclear-news.org/NN-UK-government-gives-go-ahead-for-Hinkley-Point-C-1509164.html>
- 6) Russia wins "half" of compensation claimed in Belene lawsuit, 16 June 2016
<http://www.world-nuclear-news.org/C-Russia-wins-half-of-compensation-claimed-in-Belene-lawsuit-16061601.html>
- 7) Nuclear Power in France: Building new nuclear capacity: other proposals
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>
- 8) China to build nuclear reactor in Essex after Hinkley deal approved, 15 September 2016
<http://www.telegraph.co.uk/business/2016/09/15/china-to-build-nuclear-reactor-in-essex-after-hinkley-deal-appro/>
China must wait four years for decision on Bradwell nuclear plant, 16 September 2016
<https://www.theguardian.com/uk-news/2016/sep/16/china-must-wait-four-years-for-decision-on-bradwell-nuclear-plant>
- 9) National Security, Strategy and Strategic, Defence and Security, Review 2015, First Report of Session 2016-17
<http://www.publications.parliament.uk/pa/jt/201617/jtselect/jtnatsec/153/153.pdf>
i tam konkluzje 6 i 7 w rozdziale Conclusions and recommendations
- 10) Ustawa Prawo Atomowe
<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20010030018>
I tam Rozdział 4 Obiekty jądrowe oraz Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania analiz bezpieczeństwa przeprowadzanych przed wystąpieniem w wnioskiem o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego, oraz zakresu wstępnego raportu bezpieczeństwa dla obiektu jądrowego
<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20120001043>
- 11) Advanced Passive 1000 - AP1000, <http://www.onr.org.uk/new-reactors/ap1000/>
- 12) Multinational Design Evaluation Programme (MDEP), <https://www.oecd-nea.org/mdep/>
- 13) Small Modular Reactors (SMR): Feasibility Study
<http://www.nnl.co.uk/media/1627/smr-feasibility-study-december-2014.pdf>
- 14) UK government launches SMR competition, 18 March 2016,
<http://www.world-nuclear-news.org/NN-UK-government-launches-SMR-competition-1803165.html>
- 15) Preparing for deployment of a UK small modular reactor by 2030, September 2016
<http://www.eti.co.uk/preparing-for-deployment-of-a-uk-small-modular-reactor-by-2030/>
<http://www.eti.co.uk/wp-content/uploads/2016/09/3588-Nuclear-Insights-2016----Lores-AW.pdf?dl=1>
- 16) Small Modular Reactors (SMRs)
<http://www.energy.gov/energy/nuclear-reactor-technologies/small-modular-nuclear-reactors>
- 17) Advanced Non-Light Water Reactor Activities: Past and Present
<http://www.nrc.gov/reactors/advanced/non-lwr-activities.html>
- 18) NuScale, <http://www.nuscalepower.com/>
- 19) NuScale, licensing: <http://www.nuscalepower.com/our-technology/nrc-interaction>
- 20) Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment, 22 September 2016
<http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7213-smrs.pdf>
- 21) HTR-10, <https://en.wikipedia.org/wiki/HTR-10>
- 22) Na przykład patrz: "High Temperature Gas-Cooled Reactors; Lessons Learned Applicable to the Next Generation Nuclear Plant", 2011, <https://nldigitalibrary.inl.gov/sti/5026001.pdf>
"Programmes and Projects for High-Temperature Reactor Development", 2009
<http://de.aveva.com/mini-home/liblocal/docs/Fachaufs%C3%A4tze/2009/BOGUSCH%20aus%20atw%202009-02.pdf>
- 23) Fort St. Vrain Generating Station, https://en.wikipedia.org/wiki/Fort_St._Vrain_Generating_Station
Due to the water-induced corrosion problems and electrical problems, plant shutdowns were common. As a result, Public Service Company of Colorado began to question the economics of continued commercial operation
- 24) Epack2005: http://energy.gov/sites/prod/files/2013/10/f3/epack_2005.pdf
Next Generation Nuclear Plant Project (NGNP) str. 202: Subtitle C—Next Generation Nuclear Plant Project
str. 207 zapis o finansowaniu: "\$1,250,000,000 for the period of fiscal years 2006 through 2015"
- 25) NRC: Next Generation Nuclear Plant (NGNP), <http://www.nrc.gov/reactors/advanced/ngnp.html>
- 26) List NRC do DOE, July 2014
<https://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/view?AccessionNumber=ML14174A734>
- 27) INL Advanced Reactor Technologies, <https://art.inl.gov/default.aspx> i tam "TRISO Fuels"
ORNL supports new projects to develop advanced nuclear technologies, January 21, 2016
<https://www.ornl.gov/news/ornl-supports-new-projects-develop-advanced-nuclear-technologies>
- 28) Strona internetowa firmy X-energy, <http://www.x-energy.com/>
- 29) Energy Department Announces New Investments in Advanced Nuclear Power Reactors to Help Meet America's Carbon Emission Reduction Goal, January 15, 2016
<http://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-new-investments-advanced-nuclear-power-reactors-help-meet>
- 30) Pebble bed modular reactor, https://en.wikipedia.org/wiki/Pebble_bed_modular_reactor
- 31) Very-high-temperature reactor https://en.wikipedia.org/wiki/Very-high-temperature_reactor
- 32) HTRPL, <http://htrpl.agh.edu.pl/>
Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej, <http://www.ncbir.pl/programy-strategiczne/technologie-wspomagajace-rozwoj-bezpiecznej-energetyki-jadrowej/>
- 33) China, Saudi Arabia agree to build HTR, 20 January 2016
<http://www.world-nuclear-news.org/NN-China-Saudi-Arabia-agree-to-build-HTR-2001164.html>
- 34) China and Indonesia to jointly develop HTGR, 04 August 2016
<http://www.world-nuclear-news.org/NN-China-and-Indonesia-to-jointly-develop-HTGR-0408165.html>
- 35) NCBJ planuje budowę badawczego reaktora nowej generacji
<http://www.ncbj.gov.pl/aktualnosci/ncbj-planuje-budowe-badawczego-reaktora-nowej-generacji>
MINISTER ENERGII POWOŁUJE ZESPÓŁ DS. WYSOKOTEMPERATUROWYCH REAKTORÓW JĄDROWYCH
<http://www.me.gov.pl/node/26197>
- 36) U-Battery - A Local Modular Energy Source, 26 January 2016
https://www.u-battery.com/_uploads/17_11_2015_IChemE_Chester.pdf
i tam slajd 9 "Phasing of Project" informujący, że planuje się rozpocząć prace licencyjne w 2018 roku
- 37) Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju - projekt do konsultacji społecznych - https://www.mr.gov.pl/media/23749/SOR_29072016_projekt.pdf i tam patrz str. 194
- 38) Secretary of Energy Advisory Board (SEAB) Task Force on the Future of Nuclear Power
<http://energy.gov/seab/secretary-energy-advisory-board-task-force-future-nuclear-power>
<http://energy.gov/seab/downloads/draft-report-task-force-future-nuclear-power>
<http://energy.gov/sites/prod/files/2016/09/f33/SEAB%20Nuclear%20Power%20Task%20Force%20Draft%20Report%20%28final%29.pdf> i tam Fysunek 9 na stronie 34
- 39) Patrz <http://energy.gov/energy/nuclear-reactor-technologies/small-modular-nuclear-reactors>