

Ludwik PIENKOWSKI*

Energetyka Jądrowa w Polsce. Synergia przemysłu węglowego i energii jądrowej

STRESZCZENIE. Decyzja rządowa o włączeniu opcji jądrowej do przyszłości energetycznej Polski stawia przed specjalistami pytanie o wybór takiego typu reaktora jądrowego, który spełni długi szereg warunków: od technicznych — po społeczne. Współczesne reaktory jądrowe znajdują zastosowanie jedynie do produkcji elektryczności, natomiast niektóre reaktory należące do tzw. IV generacji mogą być również wykorzystane bezpośrednio w przemyśle. Decydują o tym dwie ich cechy:

- 1) stosunkowo niewielka moc cieplna — nie większa niż kilkaset megawatów,
- 2) duża temperatura helu chłodzącego taki reaktor wynosząca 900 °C.

Oprócz napędzania turbogeneratorów, hel o tak dużej temperaturze może być zastosowany, między innymi, do produkcji wodoru, który jest używany w wielu procesach przemysłowych. Gorący hel może być też wykorzystany do przerobu węgla na całą gamę poszukiwanych produktów. Wysokotemperaturowe reaktory jądrowe chłodzone helem, spełniające więcej zadań niż klasyczne reaktory dużej mocy, wydają się być atrakcyjną perspektywą dla polskiej gospodarki, obecnie tak bardzo zależnej od importowanej ropy i gazu ziemnego. Jedną z możliwych idei jest przetworzenie CO₂ z elektrowni węglowej w paliwo syntetyczne z użyciem wodoru uzyskanego z rozkładu wody, procesu zasilanego ciepłem z reaktora wysokotemperaturowego.

SŁOWA KLUCZOWE: energetyka jądrowa, przemysł węglowy, reaktory jądrowe, elektrownia węglowa

* Mgr inż. — Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Roman NEY

Motywacja

Polski system wytwarzania energii elektrycznej jest niemal w pełni zależny od górnictwa i energetyki opartej na węglu. Powszechnie uważa się, że wyeksploatowanie części elektrowni, otwarcie rynku energii (w tym rynku europejskiego), zwiększające się koszty wydobywania węgla, jak i rosnące wymogi ochrony środowiska, w tym konieczność zmniejszenia emisji CO₂, będą wywierały presję ekonomiczną na przemysł węglowo-energetyczny. Oczekuje się, że czynniki te spowodują ograniczenie produkcji elektryczności. Równocześnie rozwój gospodarczy powinien zwiększyć zapotrzebowanie na energię elektryczną. Chcąc zachować niezależność energetyczną konieczne będzie wybudowanie w Polsce elektrowni jądrowej około roku 2020, jak przewiduje to dokument rządowy „Polityka energetyczna Polski do 2025 roku”. Wykorzystanie elektrowni jądrowych przed rokiem 2020 mogłoby wpłynąć korzystnie na ceny energii elektrycznej. Niestety, mogłoby się to także wiązać z dużymi kosztami społecznymi wynikającymi z ograniczenia zatrudnienia w górnictwie i energetyce węglowej.

Konkurencja przemysłu węglowego i energetyki jądrowej występuje jeśli energetykę jądrową ograniczy się do obecnych technologii. Relację konkurencji można zmienić na relację synergii za sprawą reaktorów wysokotemperaturowych do chemicznej przeróbki węgla. Taka opcja rozwoju wydaje się szczególnie atrakcyjna dla Polski, gdyż pomogłaby przetworzyć niewygodne i postrzegane jako przestarzałe paliwa stałe takie jak węgiel (ale i biomasa) na powszechnie poszukiwane węglowodorowe paliwa gazowe i płynne. Energetykę jądrową przyszłości należy zatem postrzegać nie tylko jako jedną z metod produkcji energii elektrycznej ale także jako alternatywne źródło zaopatrzenia Polski w gaz ziemny, wodór i paliwa płynne. Uruchomienie programów badawczych może wpłynąć stabilizująco na pertraktacje handlowe z dostawcami paliw węglowodorowych do Polski jeszcze na wiele lat przed przemysłowym wykorzystaniem nowej technologii.

Prawdopodobieństwo awarii współczesnych reaktorów jądrowych o skutkach porównywalnych z katastrofą w Czarnobylu jest bliskie zeru. Gdyby jednak instalacja została zniszczona w wyniku kataklizmu, ataku bombowego lub terrorystycznego, to paliwo z reaktora wysokotemperaturowego będzie nadal miało barierę bezpieczeństwa, gdyż jest zamknięte w niemal niezniszczalnych mikrokapsułkach. Po ewentualnym zniszczeniu reaktora kulki paliwowe rozsypałyby się w pobliżu reaktora, ale w zdecydowanej większości wytrzymałyby tę próbę i nie doszłyby do uwolnienia dużych ilości groźnych, lotnych, radioaktywnych substancji, takich jak jod-131. Jedynie promieniowanie emitowane przez same kulki paliwowe byłoby groźne, ale tylko na niewielkim obszarze wokół miejsca katastrofy.

Przedstawione argumenty przekonują do uznania energetyki jądrowej jako jedno z priorytetowych kierunków badań w Polsce, z perspektywnym celem uruchomienie w Polsce instalacji pilotażowej wykorzystującej reaktor wysokotemperaturowy około 2015 roku. Europejski program budowy reaktora wysokotemperaturowego, RAPHAEL (*ReActor for Process heat, Hydrogen And Electricity generation*; <http://www.raphael-project.org>), sku-

pie ośrodki z 10 państw, jak dotąd bez Polski. Polscy naukowcy biorą udział w wielu międzynarodowych projektach, ale duże urządzenia powstają w innych krajach i Polacy jeżdżą do nich tylko jako goście. Pora, aby ważne urządzenia dla całej Europy powstało w Polsce. Czasu na podjęcie decyzji jest mało, bo pierwsze instalacje pilotażowe powstaną przed 2015 rokiem, a u lidera technologii w RPA, już w roku 2011 (<http://www.pbmr.com>).

Reaktor wysokotemperaturowy

Spośród sześciu typów reaktorów IV generacji reaktor wysokotemperaturowym chłodzonym helem wydaje się najlepszym wyborem:

- ✧ ten typ reaktora odpowiada potrzebom polskiej gospodarki,
- ✧ technologia jest na tyle dojrzała, że w perspektywie 10 lat planowane są uruchomienia pierwszych instalacji przemysłowych. Cecha ta ma bardzo duże znaczenie w analizie aspektów ekonomicznych.

Dla oceny przydatności reaktora tego typu w polskiej gospodarce najważniejsze są jego dwie cechy:

- ✧ stosunkowo niewielka moc cieplna — nie większa niż kilkaset MW,
- ✧ duża temperatura helu chłodzącego reaktor wynosząca 900°C.

Energetyka jądrowa — priorytetowy kierunek badań w Polsce

Prace nad technologią jądrowych reaktorów wysokotemperaturowych intensywnie prowadzono głównie w Niemczech po pierwszym kryzysie naftowym w latach siedemdziesiątych XX wieku, ale zostały one zaniechane w późniejszym czasie między innymi w wyniku długotrwałego i głębokiego spadku cen ropy w drugiej połowie lat osiemdziesiątych i w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Reaktory wysokotemperaturowe znalazły się na początku obecnego stulecia na liście zaledwie kilku typów reaktorów uznanych przez USA jako reaktory przyszłości, tzw. reaktory IV Generacji. Plany budowy takich właśnie, chłodzonych helem reaktorów powstają obecnie w kilku państwach na świecie, między innymi w USA, Francji, Chinach, Japonii i RPA.

Krajowy Program Ramowy (http://www.mnii.gov.pl/mein/_gAllery/12/53/12535.pdf) w ósmym strategicznym obszarze badawczym „Energia i jej zasoby” wyróżnia następujące priorytetowe kierunki badań:

1. Efektywne wykorzystanie węgla.
2. Nowoczesne technologie dla generowania, przetwarzania i przechowywania energii.
3. Odnawialne źródła energii.
4. Bezpieczeństwo energetyczne państwa.

Efektywne wykorzystanie węgla

Dążenie do efektywnego wykorzystania węgla wydaje się najistotniejszym impulsem do uznania energetyki jądrowej jako priorytetowy kierunek badawczy. Możliwość wykorzystania ciepła z wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych do czystych technologii węglowych jest szansą dla przemysłu węglowego. Takie przedstawienie energetyki jądrowej już spotkało się z zainteresowaniem Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze i Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach. W bardzo wstępnej fazie rozważany jest projekt budowy demonstracyjnej instalacji do przeróbki węgla z wykorzystaniem technologii jądrowych reaktorów wysokotemperaturowych. Demonstracyjna instalacja, o niewielkiej mocy, nie będzie czerpała ciepła z reaktora jądrowego. Do jej zasilania gorący hel, o temperaturze 900°C będzie dostarczany z klasycznego źródła ciepła, z procesów spalania. Budowa pilotażowych instalacji do zbadania możliwości przemysłowego wykorzystania gorącego helu jest ważnym zadaniem istniejących programów badawczych, jest też przewidziana w europejskim programie budowy reaktorów wysoko-temperaturowych RAPHAEL (<http://www.raphael-project.org>). Polska, a dokładniej Innowacyjny Śląski Klaster Czystych Technologii Węglowych wydaje się jednym z najlepszych miejsc w Europie do zbadania możliwości wykorzystania reaktorów wysokotemperaturowych jako jednej z technologii czystego węgla. Należy też dodać, że współczesne, nowoczesne procesy rafinacji ropy naftowej wykorzystują znaczne ilości wodoru (obecnie pozyskiwanego głównie z gazu ziemnego) do przerobienia mało wartościowych pozostałości po rafinacji celem uzyskania pełnowartościowych produktów. Reaktory wysokotemperaturowe użyte do produkcji wodoru mogą zatem znaleźć zastosowanie w przemyśle petrochemicznym, zmniejszając krajowe zapotrzebowanie na gaz ziemny.

Równoczesne podjęcie w Polsce badań nad konstrukcją reaktora wysokotemperaturowego, na przykład we współpracy z europejskim programem RAPHAEL, miałyby na celu wybudowanie w Polsce około roku 2015 pilotażowej instalacji już z wykorzystaniem reaktora jądrowego. Prowadzenie prac badawczych będzie synergicznie oddziaływać również z badaniami prowadzonymi w ramach pozostałych priorytetowych kierunków w obszarze Energia i jej zasoby.

Nowoczesne technologie dla generowania, przetwarzania i przechowywania energii

Reaktory wysokotemperaturowe umożliwią budowę małych, o mocy około 200 MW, wydajnych elektrowni. Szczególnie w warunkach polskich wydaje się, że jest to ważna zaleta, choćby ze względu na mały jednostkowy koszt inwestycji, co ułatwia pozyskanie kapitału.

Wysoka temperatura helu chłodzącego reaktor umożliwi produkcję energii z wydajnością przekraczającą 45%, w porównaniu do około 33% wydajności współczesnych elektrowni jądrowych. Duża sprawność i stosunkowo mała moc cieplna reaktora oznacza, że elektrownia będzie zużywać do odprowadzania ciepła odpadowego dużo mniej wody niż współczesne duże, o mocy co najmniej 1000 MW_e, elektrownie jądrowe, których lokalizacja ograniczona jest do rejonów zasobnych w wodę. Planując budowę elektrowni jądrowej znalezienie odpowiednich miejsc na ich lokalizację jest jednym z istotnych zagadnień, między innymi z konieczności zapewnienia możliwości odprowadzenia dużych ilości ciepła odpadowego. Polska nie należy do krajów zasobnych w wodę, zatem małe zużycie wody jest ważną zaletą reaktorów wysokotemperaturowych. Obecnie nasze duże centra produkcji energii są zlokalizowane w rejonach wydobycia węgla brunatnego, którego zasoby w perspektywie dwudziestu lat ulegną znacznemu wyczerpaniu. Zastąpienie tych elektrowni elektrowniami jądrowymi jest jedną z rozważanych opcji. Zastosowanie tam reaktorów wysokotemperaturowych będzie korzystne właśnie ze względu na małe ilości ciepła odpadowego towarzyszące przemianie ciepła na energię elektryczną.

Energetyka jądrowa jest nowoczesną technologią nawet, jeśli zostanie ograniczona do współczesnych, skomercjalizowanych technologii, niewymagających szczególnych prac badawczych. Takie wykorzystanie energetyki jądrowej w Polsce wydaje się dość prawdopodobne, gdy zakłada się wybudowanie pierwszej elektrowni jądrowej około 2020 roku. Uruchomienie pierwszych reaktorów wysokotemperaturowych przewidywane jest jeszcze przed rokiem 2015, ale skomercjalizowanie tej technologii będzie wymagało nawet dziesięciu, a może i więcej lat. Tym niemniej, samo prowadzenie intensywnych prac badawczych, wsparte o budowaną instalację pilotażową wykorzystującą reaktor wysokotemperaturowy, będzie korzystnie oddziaływać na budowę elektrowni jądrowej.

Grupa PSE S.A. (a po planowanym połączeniu z BOT grupa PGE) już dziś deklaruje zainteresowanie budową pierwszej polskiej elektrowni jądrowej wykorzystując jedną z dostępnych obecnie technologii. Realizacja tych planów będzie wymagała posiadania wysoko wykwalifikowanej kadry, którą inwestor będzie mógł czerpać w oparciu o działający program badawczy. Obecnie w Polsce kadry energetyków jądrowych są bardzo nieliczne i rozproszone, a wiele uczelni technicznych od lat nie prowadzi specjalności magisterskiej: „energetyka jądrowa”. Natomiast uniwersytety prowadzące specjalność „fizyka jądrowa” najczęściej nie oferują studentom specjalistycznych zajęć z fizyki reaktorów jądrowych. Uruchomienie odpowiednich kierunków studiów wymaga jednak szerszej perspektywy, niż ta którą może zaoferować plan budowy elektrowni jądrowej w jednej z już skomercjalizowanych technologii. Zdecydowanie mocniejszym impulsem do wznowienia kształcenia energetyków jądrowych będzie uruchomienie programów badawczych dających pełnię szans dla najlepszych ośrodków akademickich, dla najlepszych studentów.

Warty podkreślenia jest również fakt, że inwestor elektrowni jądrowej będzie potrzebował specjalistów już na wiele lat przed rozpoczęciem budowy. Osiągnięcie akceptacji społecznej dla energetyki jądrowej jest jednym z pierwszych wyzwań stojących przed inwestorem i wydaje się, że rolą jaką krajowi eksperci, uczestnicy programów badawczych, niezależni od inwestora odegrają w tym procesie jest trudna do przecenienia.

Odnawialne źródła energii

Idea wykorzystania odnawialnych źródeł energii jedynie pozornie jest w opozycji do energetyki jądrowej, a zwłaszcza do prac badawczych nad reaktorami wysokotemperaturowymi. Reaktor wysokotemperaturowy może być przecież wykorzystany nie tylko do chemicznej przeróbki węgla i ropy naftowej, ale i biomasy. Istnieje też druga, pośrednia rola jaką mogą odegrać reaktory wysokotemperaturowe w synergicznej relacji z energetyką odnawialną.

W Polsce największe możliwości energetyki odnawialnej są związane z rolnictwem, z wykorzystaniem biomasy, a szczególnie z produkcją biopaliw. Uprawiając w Polsce rzepak można oczekiwać plonów około 3,5 tony ziarna z hektara. Z tej ilości nasion można wyprodukować około 1,2 tony biopaliwa. Jeśli biodiesel ma odgrywać istotną rolę w bilansie paliwowym Polski, to konieczna jest jego produkcja na poziomie kilkuset tysięcy ton rocznie. Do tak dużej produkcji będzie niezbędna uprawa rzepaku na obszarze kilkuset tysięcy hektarów. Należy jednak zwrócić uwagę, że aby uzyskiwać plon 3,5 ton nasion z hektara, to ziemię należy nawozić ponad pół toną nawozów sztucznych na każdy hektar (rezygnując z nawożenia trudno oczekiwać w Polsce plonów większych 1,5 ton ziarna z hektara). Planując tak dużą produkcję biodiesla należy zatem jednocześnie przewidzieć znaczny wzrost zapotrzebowania na nawozy sztuczne, w tym nawozy azotowe. Ich cena zależy w największym stopniu od ceny wodoru niezbędnego do syntezy cząsteczki amoniaku, a wodór w zakładach azotowych jest pozyskiwany z gazu ziemnego. Uprawiając rzepak należy pamiętać, że 40% kosztów uprawy to koszt nawożenia, a pozostałe koszty w zdecydowanej większości są wprost zależne od ceny energii elektrycznej i ciepłej. Zapewniając stabilną cenę wodoru produkowanego z użyciem reaktora wysokotemperaturowego można oczekiwać stabilnych cen nawozów azotowych, co poprawi opłacalność produkcji biodiesla. Bardzo zbliżone wyniki dostaje się analizując warunki produkcji innych biopaliw, bazujących na uprawie zbóż i ziemniaków.

Bezpieczeństwo energetyczne państwa

Dążenie do samowystarczalności energetycznej Polski wskazuje na konieczność wykorzystania energetyki jądrowej już za kilkanaście lat. Jest to jednak wystarczająco długi okres nie tylko do wybudowania elektrowni jądrowej, ale również do stworzenia silnej bazy naukowo technicznej, co jest podstawą rozwoju technologicznego Polski. Proces kształcenia specjalistów najefektywniej można oprzeć o ramy programów badawczych, które w perspektywie kilkunastu lat mogą doprowadzić do praktycznego wykorzystania energii jądrowej nie tylko do produkcji elektryczności, ale również produkcji poszukiwanych paliw węglowodorowych i wodoru, a dostępność do tych paliw już dziś jest ważnym elementem dyskusji publicznej o bezpieczeństwie energetycznym Polski.

Energetyka jądrowa — wstępny plan programu badawczego

Uznania energetyki jądrowej za priorytetowy kierunek badawczy da niemal natychmiast impuls do prac bezpośrednio i pośrednio związanych z technologią reaktorów wysokotemperaturowych. Można założyć, że przygotowawcza część programu trwałaby trzy lata i obejmowałaby:

- ❖ **Stworzenie grupy złożonej z fizyków jądrowych, inżynierów energetyki jądrowej i chemii węgla.** Zadaniem grupy będzie wypracowanie szczegółowego programu dla polskich grup badawczych i rozpoczęcie jego realizacji przy współpracy z istniejącymi, już bardzo zaawansowanymi programami europejskimi (RAPHAEL) i światowymi (GIF), jak i możliwość stworzenia programów dwustronnych na przykład z Francją, USA, RPA. W szczególności jednym z pilnych zadań będzie opracowanie programu badań nad chemicznym przerobem węgla, ważną naszą ofertą dla programu europejskiego i wokół niej przygotowanie programu uczestnictwa polskich badaczy w 7 PR. Efektywnie działająca grupa liczyć będzie około dziesięć osób (a w przeliczeniu na etaty jedynie kilka). Jej koszt działania obejmie głównie koszty osobowe, koszty przygotowania wniosków badawczych krajowych, wykorzystujących fundusze strukturalne, fundusze europejskie, koszty kontaktów z partnerami, w tym z partnerami zagranicznymi i dostęp do informacji. Jednym z zadań grupy będzie też kształcenie młodych naukowców, między innymi przez ofertę studiów doktoranckich, jak i wsparcie dla kilku naukowców w kształceniu specjalistycznym w renomowanych ośrodkach zagranicznych. Szacunkowo koszt takiego trzyletniego programu pracy będzie rzędu miliona euro.
- ❖ **Opracowanie technologii i budowa pilotażowej instalacji małej mocy do chemicznej przeróbki węgla z wykorzystaniem gorącego helu.** Zakładając koszt kilku tysięcy euro za każdy kilowat mocy instalacji pilotażowej o mocy kilku megawatów dostaje się szacunkowy koszt instalacji około 3 milionów euro. Koszt ten nie obejmuje jednak opracowania technologii, badań nad materiałami odpornymi na bardzo wysokie temperatury, kosztów infrastruktury. Łączny kosztu budowy instalacji pilotażowej wymaga zatem znacznie większych środków, rzędu 10 milionów euro.
- ❖ **Wznowienie na poziomie akademickim kształcenia inżynierów energetyki jądrowej i fizyków jądrowych ze specjalnością fizyki reaktorów jądrowych.** Proces ten będzie zależał w największym stopniu od liczby studentów zainteresowanych energetyką jądrową. Deklaracja intencji PSE S.A. budowy pierwszej elektrowni jądrowej, przy wsparciu Polskiego Towarzystwa Nukleonowego i Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej doprowadziła do obecnie realizowanej „Letniej Szkoły Energetyki Jądrowej Dunaj ‘06”, w której uczestniczy 45 studentów PW i pracowników PSE S.A. (<http://itc.pw.edu.pl/LetniaSJ06.PDF>). Natomiast na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w bieżącym roku akademickim odbył się cykl kilku wykładów monograficznych o energetyce jądrowej, którego słuchaczami było około 20—30 studentów. Dopiero zwiększenie zainteresowania studentów energetyką jądrową przez pokazanie im szansy znalezienia ciekawej pracy w Polsce da podstawę uczelniom do wprowadzenia tej

specjalności. Wydaje się to możliwe dopiero jako jeden z rezultatów uznaniu energetyki jądrowej za priorytetowy kierunek badań w Polsce.

Podane oszacowania kosztów mają jedynie wskazać rząd wielkości środków finansowych, o które wystąpią naukowcy we wnioskach badawczych.

Trudno przed rozpoczęciem badań rozstrzygnąć jak będzie wyglądała docelowa instalacja. Programy badawcze realizowane w Europie, USA, Japonii przyszłość reaktorów wysokotemperaturowych widzą głównie w produkcji wodoru bez emisji CO₂. Jedną z możliwości wykorzystania tak wyprodukowanego wodoru jest skojarzenie elektrowni węglowej z reaktorem wysokotemperaturowym i fabryką paliw syntetycznych. Stosowane w świecie metody produkcji paliw płynnych z węgla, wiążą się z emisją olbrzymich ilości dwutlenku węgla oraz rozrzną gospodarką surowcową. Stosunek zużywanego surowca do masy produktu jest ponad pięciokrotny, a ów nadmiar w zdecydowanej większości to emitowany dwutlenek węgla. Bez rozwiązania problemu emisji dwutlenku węgla zastosowanie technologii w Europie będzie w sprzeczności z głównymi wytycznymi polityki energetycznej Unii Europejskiej, będzie niemal niemożliwe do wdrożenia w dużej skali przemysłowej. Wykorzystując ciepło wysokotemperaturowego reaktora jądrowego można całkowicie wyeliminować emisję dwutlenku węgla przy produkcji paliw syntetycznych, można nawet zmniejszyć emisję CO₂ z pobliskiej elektrowni węglowej żyjącej w symbiozie z reaktorem wysokotemperaturowym. Nie przesądzając jaka technologia zostanie wdrożona, rozważmy taką, w której surowcem do produkcji paliw będzie nie węgiel, a dwutlenek węgla pozyskany z elektrowni węglowej (wraz z dopłatą za niewyemitowanie). Drugim niezbędnym surowcem do produkcji paliw będzie wodór uzyskany z rozkładu wody na wodór i tlen w procesie zasilanym przez ciepło z jądrowego reaktora wysokotemperaturowego. Elektrownia węglowa z kolei zużyje tlen z rozkładu wody w procesie spalania węgla, co zwiększy jej efektywność zamiany węgla na elektryczność, bo umożliwi uzyskanie wyższych temperatur spalania. Dodatkowo spalanie węgla w tlenie wyeliminuje emisję bardzo szkodliwych tlenków azotu, które powstają gdy węgiel spalany jest w powietrzu.

Energetyka jądrowa — długofalowy cel programu:

Uruchomienie około 2015 roku pilotażowej instalacji do chemicznej przeróbki węgla z wykorzystaniem reaktora wysokotemperaturowego

Przyjmując koszt instalacji na poziomie 2000 euro za każdy kilowat mocy cieplnej reaktora i zakładając moc reaktora około 500 MW_t, można oszacować koszt inwestycji na jeden miliard euro.

Należy dodać, że duże koszty inwestycyjne budowy instalacji w energetyce jądrowej są kompensowane niewielkimi kosztami ich eksploatacji, wynikającymi głównie z relatywnie niskiej ceny paliwa jądrowego. Dlatego koszt wytworzenia energii elektrycznej w elek-

rowniach jądrowych i węglowych, uwzględniając wieloletni okres eksploatacji, jest porównywalny. Można też oczekiwać, że koszt budowy każdego kolejnego reaktora wysokotemperaturowego będzie znacznie mniejszy. Ta nowatorska technologia ma umożliwić budowę tańszych reaktorów niż obecne skomercjalizowane technologie, między innymi przez modularność ich budowy (instalacja jest jedynie montowana w miejscu inwestycji) i uproszczenie konstrukcji reaktorów, która wynika z pasywnych systemów bezpieczeństwa reaktora wysokotemperaturowego.

Wnioski

Uznanie energetyki jądrowej za priorytetowy kierunek badań jest korzystne dla polskiej gospodarki gdyż:

- ✧ W synergii z technologiami czystego węgla wskaże alternatywne źródło poszukiwanych paliw węglowodorowych. Będzie elementem wzmacniającym bezpieczeństwo energetyczne już na wiele lat przez przemysłowym wykorzystaniem nowych technologii.
- ✧ Umożliwi wykształcenie kadr dla planowanej energetyki jądrowej. Będą one niezbędne również w sytuacji, gdy pierwsza polska elektrownia jądrowa powstanie z wykorzystaniem już skomercjalizowanych technologii.
- ✧ Ułatwi uzyskanie akceptacji społecznej dla energetyki jądrowej poprzez wykorzystanie wiedzy naukowców i inżynierów pracujących w znacznej autonomii od inwestora pierwszej elektrowni jądrowej.
- ✧ Da szansę wprowadzenia do polskiego systemu energetycznego małych (około 200 MW_e), wydajnych elektrowni niewymagających znacznych ilości wody do odprowadzenia ciepła odpadowego. System energetyki rozproszonej, opartej o małe elektrownie będzie bardziej dostosowany do potrzeb energetycznych. Pozyskanie kapitału dla pojedynczych inwestycji będzie łatwiejsze, a jednostkowa inwestycja nie zaburzy w istotny sposób istniejącego systemu energetycznego.

Tak zarysowany program był inspiracją do powstania konsorcjum badawczego: „wysokotemperaturowy Reaktor Jądrowy w Polsce”. Zostało ono zawiązane na specjalnym posiedzeniu Rady do Spraw Atomistyki w dniu 28 czerwca 2006 r. w Warszawie. Sygnatariuszami porozumienia o współpracy są między innymi: Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Wydział Paliw i Energii AGH, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Główny Instytut Górnictwa, Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska, Instytut Energii Atomowej, Instytut Problemów Jądrowych, Dolnośląskie Centrum Zaawansowanych Technologii wraz z Politechniką Wrocławską, Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej, Politechnika Warszawska — Wydział Fizyki i Instytut Techniki Ciepłej, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Informacje o działalności Konsorcjum można znaleźć na stronie: <http://www.slcj.uw.edu.pl/htrp>

Ludwik PIEŃKOWSKI

Nuclear Energy in Poland. Nuclear and coal industry synergy

Abstract

The Polish Government decision to include nuclear energy option in a number of Poland's future energy solutions challenge the specialists with a question of choosing of a nuclear reactor, which fulfills the conditions ranging from technical to social issues. Contemporary nuclear reactors are used to produce electricity only, however, some reactors belonging to so-called IV generation can be as well employed directly by the industry. Two features of these reactors are decisive:

- 1) relatively low heat power — no more than few hundreds megawatts,
- 2) high temperature of the helium coolant of about 900 °C.

Nuclear process heat at such a high temperature can be utilized, among other applications, for coal technology, for production of hydrogen used in many industrial processes. Hot helium can also be applied to obtain many carbon-based valuable products. High temperature helium-cooled reactors, play more roles than classical high-power reactors. It seems to be an attractive perspective for Polish economy which is now so much dependent on imported oil and gas, but keeps a high potential in coal industry. CO₂ from the coal power plant recycling into synfuel with the use of hydrogen from a water splitting factory driven by nuclear process heat from the high temperature nuclear reactor is one of the challenging ideas.

KEY WORDS: nuclear energy, coal industry, nuclear reactors, coal power plant