

Synergia węgla i atomu

Ludwik Pieńkowski

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 wydobycia 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 wytrzymałoby tę próbę i nie doszłoby do uwolnienia dużych ilości groźnych, lotnych, radioaktywnych substancji, takich jak jod-131. Jedyne pro-

mieniowanie 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 uruchomienia 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>), skupia 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 urządzenie 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>).

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. 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 Ramowy¹ 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

1 (http://www.mnii.gov.pl/mein/_gAllery/12/53/12535.pdf)

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 Górnictwa 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 900C 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 wysokotemperaturowych 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 MWe, 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 cie-

pła odpadowego dużo mniej wody niż współczesne duże, o mocy co najmniej 1000 MWe, 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 wydobywania 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 przemianom ciepła na energię.

Energetyka jądrowa jest nowoczesną technologią nawet, jeśli zostanie ograniczona do współczesnych, skomercjalizowanych technologii, nie wymagających 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 wykorzystującą 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 rola 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 uzyskać 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 wódór 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 7PR. 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 wyniesie około 0,6 miliona euro².
- **Opracowanie technologii i budowa pilotażowej instalacji małej mocy do chemicznej przeróbki węgla**

2	Szacunek przeprowadzono zakładając 3 lata realizacji projektu, przy rocznych kosztach:	
5	stanowisk pracy specjalistów:	5*25000 EUR
	Koszt przygotowania wniosków badawczych	10000 EUR
	wsparcie dla 3 stypendiów zagranicznych:	3*13000 EUR
	3 krajowe stypendia doktoranckie:	3*10000 EUR
	Razem rocznie:	204000 EUR

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 koszt 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 uznania 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.

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_{th} 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 elektrowniach 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 węglodorowych. Będzie elementem wzmacniającym bezpieczeństwo energetyczne już na wiele lat przed 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 MWe), wydajnych elektrowni nie wymagających 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.

Dr hab. Ludwik Pieńkowski – adiunkt w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego. Jest jednym z reprezentantów konsorcjum badawczego: „Wysokotemperaturowy Reaktor Jądrowy w Polsce”