



Paweł TERLIKOWSKI*, Józef PASKA**

Analiza scenariuszowa rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono opis technologii reaktorów wysokotemperaturowych (HTR), z wyszczególnionymi jej zaletami i wadami. Omówiono doświadczenia płynące z realizacji dotychczasowych projektów HTR na świecie, zarówno wersji demonstracyjnych, jak i wdrożeń komercyjnych. Przeprowadzono analizę zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło oraz wodór, które mogą być produkowane z wykorzystaniem HTR. Scharakteryzowano możliwości zaangażowania polskiego przemysłu w produkcję i wykorzystanie reaktorów wysokotemperaturowych. Przeprowadzono analizę SWOT metodą PEST, dotyczącą rozwoju HTR w Polsce. Przeprowadzone badania umożliwiły wyróżnienie dwóch czynników niepewności, to jest polityki energetycznej, prowadzonej przez rząd RP w sposób spójny lub chaotyczny, oraz otoczenia makroekonomicznego, wrogiego lub sprzyjającego inwestycji. W analizie krzyżowej tych czynników zidentyfikowano cztery wyróżnione obszary, będące podstawą do stworzenia scenariuszy rozwoju HTR w Polsce. Scenariusz *Polska pionierem* zakłada przekonanie otoczenia biznesowego o zasadności i opłacalności inwestycji, co przy sprzyjającej polityce państwa skutkuje budową pierwszego reaktora HTR. Scenariusz *Dryf atomowy* wskazuje na nieumiejętne zarządzanie oraz błędne decyzje na szczeblach politycznych, które sprawiają, że pomimo dużego zainteresowania technologią reaktorów wysokotemperaturowych wśród spółek energetycznych oraz konsumentów, dalsze prace nad tym projektem są ciągle odkładane na przyszłość. Scenariusz *Polska bez atomu* zakłada brak zainteresowania inwestorów w połączeniu z biernym stanowiskiem środowiska politycznego, co powoduje zaniechanie dalszych prac nad technologią HTR już w fazie projektowej. Natomiast w scenariuszu *Pod prąd* założono, że pomimo profesjonalnego podejścia rządu do rozwoju tech-

* Mgr inż., ** Prof. dr hab. inż. – Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej, Warszawa, e-mail: Pawel.Terlikowski@ien.pw.edu.pl, Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl

nologii HTR, brak inwestorów i zainteresowanych odbiorców sprawia, że projekt jest znacznie opóźniony w czasie i nie ma pewności, że kiedykolwiek zostanie sfinalizowany.

SŁOWA KLUCZOWE: reaktory wysokotemperaturowe HTR, analiza SWOT, polski przemysł, polityka energetyczna, scenariusze rozwoju

Wprowadzenie

Choć Program Polskiej Energetyki Jądrowej ([Rada Ministrów 2014](#)) jest co do zasady skoncentrowany na budowie dużych systemowych elektrowni jądrowych, o mocach jednostkowych przekraczających tysiąc megawatów, to jest w nim również odniesienie do reaktorów mniejszej mocy typu HTR. W rozdziale 12, zatytułowanym *Zaplecze techniczne i naukowo-badawcze polskiej energetyki jądrowej*, napisano: „uruchomiony został strategiczny projekt badawczy NCBiR »Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej«, obejmujący realizację 10 zadań badawczych za kwotę 50 mln zł. Zadania te obejmują tematy takie jak: (...) perspektywiczne zadanie pt. rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych”.

Rozwinięcie myśli zawartej w Programie PEJ znajduje się w opublikowanej w 2017 roku Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju ([Rada Ministrów 2017](#)), zwanej planem Morawieckiego. Wymieniono w niej wśród strategicznych kierunków rozwoju – równoległe z elektrowniami jądrowymi przewidzianymi w PPEJ – „przygotowanie, przy wykorzystaniu polskiego potencjału przemysłowego i naukowego, wdrożeń wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych HTR do produkcji ciepła przemysłowego w skojarzeniu”.

Te sprzyjające elementy polityczne otoczenia makroekonomicznego skłaniają do podjęcia refleksji nad możliwościami wykorzystania i scenariuszami rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce.

1. Opis technologii HTR

Reaktory HTR (ang. *High Temperature Reactor*) lub HTGR (ang. *High Temperature Gas Reactor*) to reaktory termiczne, w których moderatorem jest grafit, a chłodziwem hel. Ze względu na zastosowanie specjalnego typu paliwa jest możliwe osiągnięcie bardzo wysokich temperatur chłodziwa, powyżej 700°C ([Strupczewski 2016](#)). Paliwo to jest najczęściej zbudowane z elementów TRISO (ang. *TRiple coated ISOtropic*). Są to sfery o średnicy poniżej milimetra, składające się z jądra zbudowanego z tlenków materiału rozszczepialnego oraz wielowarstwowej powłoki ceramicznej. Wzbogacenie izotopem U-235 jest na poziomie 10%.

W zależności od koncepcji paliwo występuje w postaci kul lub bloków grafitowych zawierających w swojej strukturze tysiące elementów TRISO. Z kul grafitowych tworzy się rdzeń w postaci złoża usypanego (ang. *pebble bed*). W konstrukcji tej paliwo może być wymieniane w trakcie pracy reaktora. W koncepcji blokowej paliwo w postaci sześciokątnych bloków jest ułożone w cylindryczny rdzeń. Obydwie konstrukcje po raz pierwszy były zbudowane w latach sześćdziesiątych XX wieku. Reaktor ze złożem usypanym został stworzony w Niemczech, a blokowy w Stanach Zjednoczonych (Jeziński 2014).

Niezależnie od konstrukcji rdzenia ciepło wytworzone w reakcjach rozszczepienia zostaje odebrane przez krążący w obiegu hel. Obieg wtórny reaktora może być zrealizowany na różne sposoby, w zależności od przeznaczenia reaktora. Hel może zostać wykorzystany bezpośrednio do napędzenia turbiny gazowej w obiegu Braytona lub stanowić górne źródło ciepła w parowym obiegu Rankine'a.

Reaktory HTR charakteryzują się znacznie mniejszą mocą niż powszechnie stosowane reaktory lekkowodne LWR. Pojedynczy blok z dwoma reaktorami, budowany w Chinach, ma osiągać moc cieplną 250 MW i elektryczną 100 MW. Główną korzyścią jest możliwość ich zastosowania w kogeneracji. Wdrożenie technologii HTR może stymulować rozwój przemysłu, w szczególności chemicznego i petrochemicznego. Ważnym aspektem jest możliwość produkcji w reaktorach wysokotemperaturowych wodoru, który może w dalszej perspektywie znaleźć szerokie zastosowanie jako paliwo do napędów pojazdów, źródło energii w urządzeniach przenośnych czy w ogniwach paliwowych (Molenda 2008).

2. Istniejące projekty reaktorów HTR

2.1. Pierwsze istniejące reaktory

Na świecie powstawały już reaktory wysokotemperaturowe (Jeziński 2014). Było ich siedem, jednak wszystkie już wyłączono z eksploatacji:

- ◆ Wielka Brytania, Dragon w Winfrith, moc cieplna 20 MW,
- ◆ Japonia, High Temperature Test Reactor, moc cieplna 30 MW,
- ◆ Chiny, HTR-10, moc cieplna 10 MW,
- ◆ Stany Zjednoczone, Peach Bottom, moc elektryczna 40 MW,
- ◆ Stany Zjednoczone, Fort St. Vrain, moc elektryczna 330 MW,
- ◆ Niemcy, AVR w Julich, moc elektryczna 15 MW,
- ◆ Niemcy, THTR w Hamm-Uentrop, moc elektryczna 300 MW.

2.2. Projekty i wersje demonstracyjne

Prace nad prototypami reaktorów wysokotemperaturowych są prowadzone w wielu krajach na świecie, z których wiodącymi są Stany Zjednoczone, Republika Południowej Afryki i Chiny. Większość projektów bazuje na dotychczasowych doświadczeniach z rdzeniem reaktora typu *pebble bed*. Nad swoimi prototypami pracują również takie kraje jak: Francja, Kazachstan i Indonezja, jednak należy nadmienić, że obecnie jedynym krajem rozwijającym projekt reaktora wysokotemperaturowego na skalę przemysłową są Chiny (w 2017 roku planowano przyłączenie do sieci reaktora HTR-PM złożonego z dwóch modułów o mocach cieplnych 250 MW, osiągających łącznie moc elektryczną 210 MW). Termin uruchomienia wersji testowych pozostałych reaktorów jest szacowany na lata 2020–2023, co oznacza, że ich wersja przemysłowa mogłaby być uruchomiona najwcześniej w pierwszej połowie lat trzydziestych XXI wieku.

2.3. Programy R&D

W wielu krajach (USA, Francja, Chiny, Japonia, Rosja, RPA, Korea Płn., Polska) prace nad projektami reaktorów wysokotemperaturowych są w fazie badawczej. W planach są różnego rodzaju konfiguracje o mocach cieplnych od 30 do 600 MW, osiągające wysokie temperatury gazu wylotowego (Dong 2015).

Stan zaawansowania prac nad wybranymi projektami HTR na świecie scharakteryzowano szerzej w (Tolak 2017).

3. Perspektywy wzrostu zapotrzebowania na rynku energii elektrycznej, ciepła i wodoru

3.1. Rynek energii elektrycznej

Obecnie zapotrzebowanie (brutto) na energię elektryczną w KSE wynosi około 162 TWh. Odbiorcami energii elektrycznej są gospodarstwa domowe, przedsiębiorstwa i przemysł. Dostępne prognozy zgodnie wskazują, że zużycie energii elektrycznej w przyszłości będzie rosnąć, choć nie ma zgodności co do tempa tego wzrostu. Według Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, w zależności od przyjętego scenariusza, finalne zapotrzebowanie będzie kształtować się w zakresie od 180 do 225 TWh w 2050 roku (IGSMiE PAN 2013). Opracowanie Krajowej Agencji Poszanowania Energii zakłada wzrost zużycia energii elektrycznej

w 2040 roku do 230 TWh (KAPE 2013). W przeprowadzonej przez Tomasza Popławskiego prognozie zapotrzebowanie w roku 2040 w zależności od założonego scenariusza będzie zawierać się w przedziale od 195 do 240 TWh (Popławski 2014). Średnioroczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w latach 2005–2014 wyniósł 1,1%, natomiast od roku 2009 do 2014 – 1,5%.

Najwięksi odbiorcy energii elektrycznej zakładają wzrost zużycia energii elektrycznej w przyszłych latach. KGHM, który obecnie zużywa 2,5 TWh energii elektrycznej zakłada, że to zużycie wzrośnie do 2018 r. do 3,5 TWh. PKN Orlen zużywa rocznie 3 TWh energii elektrycznej, lecz realizuje własne inwestycje, oparte na wykorzystaniu gazu mającego pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną we Włocławku (już oddany) oraz Płocku.

3.2. Rynek ciepła

Agencja Rynku Energii przewiduje wzrost zużycia ciepła w latach 2010–2030 o 15%, z czego największy przyrost będzie dotyczył sektora usług i handlu (PWC 2012). Ze względu na nieekonomiczne przesyłanie ciepła na duże odległości rynek ciepła ma charakter lokalny. Przewiduje się wzrost kosztów ciepła sieciowego w Polsce na skutek konieczności zakupu uprawnień do emisji CO₂ oraz konieczności modernizacji infrastruktury przesyłowej. Wytwarzanie ciepła w reaktorze HTR pozwoliłoby ograniczyć potrzeby zakupu uprawnień, które od 2027 roku będą przydzielane na aukcjach. Według prognozy przygotowanej dla Ministerstwa Gospodarki przewiduje się, iż z obecnych 6 euro/Mg emisji CO₂ cena wzrośnie do 25 euro/Mg w 2025 r., następnie do 35 euro w 2030 r. i 45 euro w 2040 roku (Ministerstwo Gospodarki 2014).

Ciepło z reaktora HTR można wykorzystać jako: ciepło sieciowe, ciepło przemysłowe do wykorzystania konwencjonalnego – para technologiczna, ciepło przemysłowe do wykorzystania własnego, niekonwencjonalnego – np. do wytwarzania wodoru metodą termochemiczną. Jest to uzasadnione, gdyż wiele zakładów przemysłowych buduje własne sieci ciepłownicze i produkuje ciepło na własne potrzeby. Umieszczenie reaktora HTR np. w specjalnej strefie ekonomicznej w Gliwicach, Tychach czy Katowicach, gdzie istnieje szereg położonych blisko siebie zakładów, otwiera drogę do dostarczania ciepła niezależne od sieci ogólnodostępnej i jest szansą dla technologii HTR.

3.3. Rynek wodoru

W Polsce obecnie wódór posiada szerokie zastosowanie w gospodarce konwencjonalnej. Dwie trzecie produkcji wodoru jest zużywane do wytwarzania amoniaku metodą Habera-Boscha, przeznaczonego następnie do produkcji nawozów sztucznych. Dużą gałęzią przemysłu wykorzystującą wódór są zakłady petrochemiczne, gdzie wódór jest używany do hydrotorafinacji oraz hydrokrakingu

ropy naftowej. Większość z tych zakładów posiada jednak własne jednostki wytwórcze, w związku z tym ciężko w tej grupie dostrzec dużą grupę potencjalnych odbiorców wodoru. Wodór ma również zastosowanie w przemyśle spożywczym do uwodorniania olejów roślinnych, w przemyśle metalurgicznym jako reduktor rudy żelaza oraz jako chłodziwo w uzwojeniach stojana i wirnika generatorów energetycznych, jednakże nie jest to grupa odbiorców masowych.

W przyszłości przewiduje się rozwój technologii wodorowych, co otwiera nowe możliwości wykorzystania go jako paliwa do napędu samochodów czy nośnika energii dla urządzeń przenośnych. Wodór będzie odgrywał istotną rolę w rozproszonej generacji energii przez lokalne wykorzystanie ogniw paliwowych do celów energetycznych.

Połączeniem rynku energii, ciepła i wodoru jest zastosowanie reaktorów wysokotemperaturowych w czystych technologiach węglowych. Pozwala na to synteza energetyki jądrowej z węglową, dzięki bardzo wysokiej temperaturze pracy reaktorów HTR. Energia elektryczna i/lub ciepło z reaktora HTR mogą być wykorzystane do produkcji wodoru z rozkładu wody (elektrolitycznego czy też termochemicznego, lub obydwu jednocześnie). Powstały na tej drodze wodór w połączeniu z dwutlenkiem węgla pochodzącym z gazów wylotowych elektrowni węglowej może zostać wykorzystany do produkcji paliw płynnych czy też gazowych metodą bezpośrednią Bergiusa czy pośrednią Fischera-Tropscha (wymaga większego nakładu wodoru). Powstały podczas rozkładu tlen może wspomagać procesy spalania węgla. System ten stanowi więc połączenie technologii jądrowych, wodorowych oraz węglowych (Jeleń i Cała red. 2012).

4. Udział polskiego przemysłu w realizacji projektu reaktorów HTR

W celu analizy możliwości zaangażowania polskiego przemysłu jest konieczne wykonanie inwentaryzacji krajowego przemysłu pod kątem projektu jądrowego HTR. Dotychczas polskie firmy były zaangażowane w projekty jądrowe na terenie Europy głównie w zakresie logistyki, montażu i remontów. Specyfika projektu reaktora wysokotemperaturowego nie pozwala na jednoznaczne połączenie i uznanie tych samych firm, mających doświadczenie w innych projektach jądrowych, jako przygotowanych do wykonywania prac przy HTR. Dużą grupę przedsiębiorców stanowią tacy, którzy pomimo dotychczasowego braku doświadczenia w zakresie wykonywania projektów jądrowych są na prostej drodze do uzyskania niezbędnych pozwoleń, certyfikatów i licencji na wykonywanie tego typu prac w najbliższej przyszłości.

Bardzo duży potencjał istnieje w sferze naukowo-badawczej. Polska posiada kilka instytutów zajmujących się tematyką jądrową, jak również badaniami nad spiekami ceramicznymi, niezbędnymi do poprawy wytrzymałości sferycznych elementów paliwa TRISO, np. IChTJ, NCBJ, ITME. Ponadto w zakresie inżynierii materiałowej mogą współpracować wydziały wyższych uczelni technicznych, jak chociażby Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej

czy Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej. Polskie zakłady posiadają duże doświadczenie w zakresie spawalnictwa, co może się znacznie przyczynić do zwiększenia udziału polskich firm przy projekcie budowy reaktora HTR.

5. Analiza SWOT

Przeprowadzono analizę SWOT, polegającą na wyszczególnieniu mocnych i słabych stron oraz szans i zagrożeń, z jakimi może się spotkać polski projekt reaktorów wysokotemperaturowych. Wykorzystano metodykę PEST, czyli wyszczególniono czynniki otoczenia polityczno-prawnego, ekonomicznego, społeczno-środowiskowego i technologicznego. Jej wyniki zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Analiza SWOT reaktorów HTR (Strupczewski i in. 2013)

TABLE 1. HTR SWOT analysis

Mocne strony	Słabe strony
<p>Polityczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ dywersyfikacja źródeł energii w Polsce ◆ wsparcie dla technologii – plan Morawieckiego <p>Ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ efektywniejsze wykorzystanie paliwa pierwotnego dzięki kogeneracji ◆ minimalizacja strat przesyłowych ◆ korzystne wskaźniki NPV i IRR przy budowie seryjnej <p>Społeczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ ograniczenie emisji szkodliwych substancji ◆ brak przeciwwskazań dla budowy blisko skupisk ludzi <p>Technologiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ reaktory IV generacji ◆ bezpieczeństwo technologii ◆ lepsze wykorzystanie paliwa – większe wypalenie ◆ krótki czas budowy jednostki ◆ możliwość zastosowania w kogeneracji ◆ produkcja ciepła wysokotemperaturowego ◆ możliwość wytwarzania wodoru z zastosowaniem reformingu parowego ◆ możliwość wdrożenia zgazowania węgla 	<p>Polityczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ brak przepisów umożliwiających zastosowanie ponadnormatywnie wzbogaconego uranu do celów komercyjnych ◆ problemy z uzyskaniem licencji ◆ słabo rozwinięty przemysł jądrowy w Polsce <p>Ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ wysokie koszty inwestycji ◆ wysokie koszty wytworzenia paliwa ◆ konieczność utylizacji odpadów radioaktywnych <p>Społeczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ obawy społeczeństwa związane z energią jądrową ◆ brak doświadczonej kadry <p>Technologiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ nowa i niesprawdzona technologia ◆ brak potencjalnych wytwórców technologii na dużą skalę ◆ wciąż istnieje wiele nierozwiązanych kwestii technicznych
Szanse	Zagrożenia
<p>Polityczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ rozwój programu jądrowego ◆ stworzenie nowego wizerunku Polski ◆ rozwój gospodarczy Polski 	<p>Polityczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ nowe regulacje uniemożliwiające wdrożenie technologii HTR ◆ brak środków na sfinansowanie badań

TABELA 1 cd.

TABLE 1 cont.

Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> ◆ współpraca na arenie międzynarodowej ◆ realizacja energetyki rozproszonej ◆ zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego ◆ zmniejszenie importu paliw gazowych i ciekłych <p>Ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ pokrycie wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną ◆ opracowanie i sprzedaż technologii dla reaktorów HTR ◆ poprawa bilansu eksport – import ◆ rozwój stref ekonomicznych <p>Społeczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ nowe miejsca pracy ◆ wykorzystanie potencjału polskich naukowców i inżynierów <p>Technologiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ upowszechnienie wodoru jako paliwa i sposobu na magazynowanie energii ◆ impuls rozwojowy nowych technologii w tym wodorowych ◆ synergia węglowo-jądrowa 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ zmniejszenie zainteresowania państwa technologią HTR <p>Ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ przegranie wyścigu technologicznego ◆ brak zainteresowania inwestorów nową technologią ◆ nieopłacalność ekonomiczna inwestycji ◆ trudny dostęp do paliwa ◆ brak odbiorców na ciepło ◆ ryzyko zmienności cen energii, ciepła i uprawnień do emisji <p>Społeczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ brak akceptacji społecznej dla inwestycji <p>Technologiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ wyparcie polskiej technologii ◆ brak odpowiedniej infrastruktury ciepłowniczej ◆ brak firm podwykonawczych poszczególnych elementów

6. Analiza krzyżowa czynników niepewności

6.1. Główne czynniki niepewności i scenariusze rozwoju

Powyższa analiza doprowadziła do wyodrębnienia dwóch czynników, które następnie skrzyżowano ze sobą. Są to polityka państwa, prowadzona w sposób świadomy lub chaotyczny, oraz otoczenie makroekonomiczne, sprzyjające lub niekorzystne dla projektu. W kwadrantach powstałych z tego skrzyżowania wyodrębniono i opisano cztery możliwe scenariusze dalszego rozwoju:

1. Scenariusz *Polska pionierem*.
2. Scenariusz *Dryf atomowy*.
3. Scenariusz *Polska bez atomu*.
4. Scenariusz *Pod prąd*.

6.2. Scenariusz *Polska pionierem*

W tym scenariuszu polski rząd prowadzi bardzo świadomą i konsekwentną politykę energetyczną i fiskalną. Wpływy z podatków umożliwiają wprowadzenie licznych ulg i dotacji na rozwój innowacji. Otoczenie biznesowe w kraju i za granicą jest przekonane o zasadności i opłacalności inwestycji w HTR. W swojej Polityce Energetycznej rząd koncentruje się na dofinansowaniu technologii HTR, nie kierując znaczących środków z budżetu równolegle na inne kosztowne projekty (gaz łupkowy, morska energetyka wiatrowa, rynek mocy). Dzięki korzystnemu networkingowi polskich ekspertów, polityków i urzędników w strukturach Komisji Europejskiej technologia jądrowa zyskuje co najmniej równorzędne z OZE uznanie i wsparcie decydentów politycznych w UE. Równocześnie impulsy z rynku ETS (m.in. kreowany przez KE wzrost cen uprawnień do emisji) zniechęcają do utrzymywania monopolu węglowego w KSE.

W ramach strategicznej współpracy z partnerem zagranicznym (np. Chinami), Polska z powodzeniem realizuje założenia planu Morawieckiego, opracowuje własną technologię reaktorów wysokotemperaturowych i staje się jej czołowym dostawcą do innych krajów. Polska jest pionierem w dziedzinie kogeneracji jądrowej, dzięki czemu uzyskuje uznanie międzynarodowe. Powstaje sieć lokalnych elektrociepłowni jądrowych z HTR w różnych rejonach kraju, przez co jest realizowana idea energetyki rozproszonej. Wykorzystując na masową skalę technologię zgazowania węgla, polski przemysł uniezależnia się od dostaw gazu z zagranicy. W ten sposób umacnia się polskie bezpieczeństwo energetyczne, będące filarem bezpieczeństwa narodowego.

Następuje wszechstronny rozwój gałęzi przemysłu związanych z energetyką jądrową. Stymuluje je również systematyczny wzrost cen energii, skorelowany ze wzrostem PKB. Coraz więcej młodych ludzi kształci się na kierunkach technicznych związanych z HTR, upatrując w tym szansę na rozwój i dobrą pracę. Polska kadra naukowa zdobywa doświadczenie i wiedzę w ośrodkach naukowych na całym świecie. Wzrasta też znaczenie polskich ośrodków naukowych, takich jak PW, NCBJ, AGH, IChTJ.

Szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach znajduje wodór, którego produkcję umożliwia rozwinięta technologia HTR. Powszechne wykorzystanie energii jądrowej poprawia jakość powietrza, kreuje nowe miejsca pracy oraz rozwój technologii wodorowych, w tym samochodów. Skutecznie prowadzone są badania w poszukiwaniu nowych złóż uranu w Polsce. Wszystko to prowadzi do narastającej akceptacji społecznej, dzięki czemu Polska staje się coraz bardziej otwarta na nowoczesne rozwiązania jądrowe.

6.3. Scenariusz *Polska bez atomu*

Polski rząd nie ma pomysłu na energetykę jądrową. Opóźnia się opracowanie Polityki energetycznej do 2050 r., nie dostosowuje się Prawa atomowego do powstania w Polsce elektrowni jądrowej. Mnożą się drobiazgowo i biurokratyczne przepisy. Spory wewnątrz rządu powodują,

że polski interes nie jest należycie przedstawiany na arenie międzynarodowej. KE nakłada na Polskę coraz to nowe kary za utrzymywanie monopolu węglowego w KSE. Pieniądze z budżetu przeznaczone na rozwój HTR muszą zostać przekierowane na opłacenie kar, aby uniknąć procesów przed Trybunałem Sprawiedliwości w Luksemburgu. Niemieckie lobby OZE deprecjonuje bezemisyjną technologię jądrową w UE jako „niebezpieczną” i zmusza pozostałe kraje do kupowania od siebie technologii OZE lub samej energii. Powoli narasta zależność Polski od dostaw paliw i energii z zagranicy.

Po wystąpieniu szeregu problemów technologicznych i braku chęci współpracy ze strony innych państw, projekt stworzenia polskich reaktorów wysokotemperaturowych upada. Bez wsparcia rządu przedsięwzięcie przerasta możliwości polskich instytucji badawczych oraz przemysłu. Bez współpracy międzynarodowej jest też niemożliwe samodzielne wyprodukowanie paliwa opartego na elementach TRISO oraz elementów konstrukcyjnych niezbędnych do budowy reaktorów.

Nieumiejętnie prowadzona polityka rządu oraz brak klarownej strategii energetycznej sprawiają, że wśród społeczeństwa pojawiają się coraz bardziej nerwowe nastroje. Demonstracje przeciwko energetyce jądrowej, prowadzone przez organizacje „zielonych”, zyskują coraz większe zainteresowanie. Brak akceptacji społecznej dla inwestycji w reaktory wysokotemperaturowe odstrasza nielicznych pozostałych inwestorów.

6.4. Scenariusz *Dryf atomowy*

Polski rząd ma zbyt ambitne plany w zakresie rozwoju krajowej bazy wytwórczej. Ministerstwo Energii równocześnie opracowuje niezależne strategie budowania w KSE nowych źródeł odnawialnych, węglowych na parametry nadkrytyczne, morskich farm wiatrowych, elektrowni jądrowych z reaktorami LWR i HTR oraz wydobycia gazu ze złóż łupkowych. Brak jednoznacznej polityki prowadzi do nieporozumień na szczeblach administracyjnych, co przyczynia się do problemów z finansowaniem poszczególnych projektów.

Legislacyjne przeciążenie Ministerstwa opóźnia tworzenie m.in. przepisów umożliwiających stosowanie ponadnormatywnie wzbogaconego uranu do celów komercyjnych. Komisja Europejska daje wprawdzie zielone światło do budowania HTR, jednak zbyt drobne krajowych projektów energetycznych uniemożliwia należyte wykorzystanie funduszy z nowej perspektywy finansowej UE. Kraje takie jak Francja stają się głównym beneficjentem funduszy przeznaczonych na działania R&D, dzięki czemu prace nad seryjną produkcją elektrowni HTR na Zachodzie nabierają tempa.

Polskie przedsiębiorstwa, po poniesionych kosztach w celu przygotowania do inwestycji w technologii jądrowe, starają się minimalizować straty, biorąc udział w projektach HTR za granicą jako podwykonawcy. Wobec niemożności realizacji dwóch projektów jądrowych równoległe technologie HTR po raz kolejny zostaje odłożona na dalszy plan, ustępując miejsca budowie planowanej elektrowni z reaktorami lekkowodnymi.

6.5. Scenariusz *Pod prąd*

Rzetelnie opracowana nowa Polityka energetyczna zakłada dalsze prace nad technologią HTR, które stają się priorytetem działań Ministerstwa Energii. Polska stawia sobie jasno określone i realne cele w zakresie rewitalizacji podsektora wytwarzania w sektorze elektroenergetycznym, ze znacznym udziałem źródeł jądrowych generacji III+ i w przyszłości IV. Ich realizacja umożliwiłaby zostanie energetycznym liderem w naszym regionie Europy.

Kompetentnie prowadzona polska dyplomacja natrafia jednak na silny opór w instytucjach unijnych. Niemieckie lobby wiatrowe zyskuje wpływy wśród większości komisarzy europejskich. Znowelizowana przez Pakiet Czystej Energii dyrektywa RES 2009/28/WE nakłada, ze względów bezpieczeństwa, znaczne ograniczenia w rozwijaniu nowych technologii jądrowych pod groźbą znacznych sankcji. Narasta napięcie pomiędzy polskim rządem, który chce realizować swoją wizję opracowania i budowy HTR a Komisją Europejską. W końcu rząd forsuje wprowadzenie na własną rękę dużego programu R&D dotyczącego HTR. W Świerku powstaje pierwszy badawczy reaktor wysokotemperaturowy, dzięki współpracy ośrodków badawczych takich jak PW, NCBJ, AGH, IChTJ.

Coraz bardziej widoczny staje się rozdźwięk między polskimi chęciami a możliwościami. Pomimo dobrze działającego krajowego programu wsparcia dla nowych projektów, niekorzystne otoczenie makroekonomiczne sprawia, że inwestorzy sceptycznie podchodzą do budowy w Polsce pierwszych komercyjnych reaktorów wysokotemperaturowych. Obawiają się zarówno kar finansowych, jak i problemów danej technologii. Zakłady przemysłowe potencjalnie zainteresowane reaktorami HTR zainwestowały już w dodatkowe źródła energii wykorzystywane dla własnych potrzeb, co oddala wprowadzenie tych rozwiązań na potrzeby największego przemysłu. Ryzyko jest zbyt duże, by jednostki sektora prywatnego były w stanie je sfinansować. Polska zmaga się z deficytem zainteresowania projektem spółek przemysłowych w kraju. Największe polskie koncerny energetyczne oraz zakłady wytwórcze wolą stawiać na sprawdzone rozwiązania z zastosowaniem węgla, OZE i gazu.

Niestety, z powodu braku zainteresowania ze strony inwestorów, budowa komercyjnych reaktorów HTR jest ciągle odkładana na przyszłość i nie jest pewne, czy projekt kiedykolwiek zakończy się sukcesem.

7. Wnioski ze scenariuszy

W obecnej sytuacji najbardziej prawdopodobny jest scenariusz *Pod prąd*. Widoczne jest zainteresowanie rządu rozwojem HTR. Trwają prace badawcze koordynowane przez NCBJ, zmierzające do wybudowania do 2025 r. reaktora badawczego o mocy cieplnej do 10 MW. Równocześnie jednak Polska jest zobowiązana przez pakiet klimatyczno-energetyczny do sys-

tematycznego podnoszenia udziału energii z OZE. Od zdecydowanych działań polskiego rządu i operatorów systemów będzie zależało bądź to kreowanie własnej wizji, bądź bierne dostosowywanie się do wytycznych UE. Przy czym bierność w zakresie odbudowy starzejących się źródeł wytwórczych naraża nie tylko na wzrost kosztów importu paliw i energii, ale też zwiększa zależność od dostawców. A to oznacza poważny spadek bezpieczeństwa energetycznego kraju i ciężenie w stronę scenariusza *Polska bez atomu*.

Niebezpieczne jest również zmierzanie w stronę scenariusza *Dryf atomowy*. Należy unikać zbytniego rozdrobnienia celów polityki energetycznej.

Możliwe jest wystąpienie scenariusza *Polska pionierem*. Sytuacja taka jest jednak dalece nieprawdopodobna, gdyż do jej spełnienia wymagana jest, zarówno bezbłędnie prowadzona polityka energetyczna państwa, w dużej mierze ukierunkowana na sektor jądrowy, jak i bardzo duże zainteresowanie ze strony potencjalnych odbiorców energii oraz inwestorów.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza doprowadziła do wniosku, że pomimo dużego zaawansowania projektów HTR na świecie, wprowadzenie ich do komercyjnego użytku w Polsce wymagać będzie pokonania istotnych przeszkód. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć ryzyko techniczne, wymagania procesu licencjonowania i dostosowania regulacji prawnych oraz znaczne nakłady inwestycyjne. Inne ważne czynniki to polityka energetyczna państwa (oraz wspólnotowa), prowadzona w sposób świadomy lub chaotyczny oraz otoczenie makroekonomiczne, sprzyjające lub niekorzystne dla projektu. Od wypadkowej tych czynników będą zależne dalsze kierunki rozwoju projektu HTR w Polsce.

Literatura

- DONG, Y. 2015. *Technologies of HTR-PM Plant and its economic potential*. Pekin: Tsinghua University.
- IGSMiE PAN 2013 – Prognoza zapotrzebowania gospodarki polskiej na węgiel kamienny i brunatny jako surowca dla energetyki w perspektywie 2050 roku.
- JELEŃ, K. i CAŁA, M. red. 2012. *Zarys stanu i perspektyw energetyki polskiej*. Kraków: Wyd. AGH.
- JEZIERSKI, G. 2014. *Energia jądrowa wczoraj i dziś*. Warszawa: WNT.
- KAPE, 2013. Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2050 roku.
- Ministerstwo Gospodarki 2014 – Wnioski z analiz prognostycznych na potrzeby Polityki energetycznej Polski do 2050 roku. Warszawa.
- MOLENDĄ, J. 2008. Fundamentalne znaczenie badań naukowych dla rozwoju gospodarki wodorowej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 11, z. 2, s. 61–68.
- POPLAWSKI, T. 2014. Prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną i moc szczytową dla Polski do roku 2040. *Rynek Energii* t. 1(110).

- PWC 2012 – Raport Rynek ciepła w Polsce. Warszawa.
- Rada Ministrów 2014 – Uchwała nr 15/2014 z dnia 28 stycznia 2014 r. w sprawie programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”. Warszawa.
- Rada Ministrów 2017 – Uchwała nr 8 z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie przyjęcia Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Warszawa.
- STRUPCZEWSKI i in. 2013 – STRUPCZEWSKI, A., SAMUL, K. i WROCHNA, G. 2013. *Małe reaktory modułowe SMR*. Raport NCBJ.
- STRUPCZEWSKI, A. 2016. *Reaktory wysokotemperaturowe będą wsparciem dla górnictwa*. [Online] Dostępne w: <http://www.cire.pl/> [Dostęp: 20.01.2018].
- TOLAK, Ł. 2017. Reaktory HTGR-stan na dziś i perspektywy. *Elektroenergetyka* t. 1, s. 72–78.

Paweł TERLIKOWSKI, Józef PASKA

Development scenarios of high temperature reactors in Poland

Abstract

The article presents an overview of high temperature reactor (HTR) technology, with its advantages and disadvantages. The experience of existing HTR projects in the world, both demo versions and commercial implementations, is discussed. An analysis of the demand for electricity, heat and hydrogen that could be produced using HTR is performed. The ability of the Polish industry to engage in the production and use of high temperature reactors has been characterized. A SWOT analysis of HTR development in Poland is performed. It was implemented in accordance with the PEST methodology, which is to specify the relevance of political, economic, social and technological elements.

Due to the aforementioned research, two axes of uncertainty factors can be distinguished: energy policy, conducted by the Polish government in a coherent or chaotic manner, and a macroeconomic environment, unfriendly or conducive to investment. The crossing of these factors identifies four areas that were the basis for the following development scenarios. The „Poland pioneer” scenario assumes the business environment of the legitimacy and cost-effectiveness of the investment, which with the favorable state policy results in the construction of the first HTR reactor. The “Atomic drift” scenario points to inadequate management and erroneous decisions at political levels that, despite high interest in HTR technology among utilities and consumers, continued work on this project is still postponed for the future. The „Poland without atom” scenario assumes a lack of interest among investors in connection with the passive attitude of the political environment, which leads to the abandonment of further work on the HTR technology. On the other hand, it is assumed in the „Upstream” scenario that despite the professional approach of the government in the development of HTR technology, the lack of investors and interested customers makes the project significantly delayed in time and there is no certainty that it will ever be finalized.

KEYWORDS: High Temperature Reactors, SWOT analysis, polish industry, energy policy, development scenarios

