

Rafał WIDERSKI*

Wpływ energii jądrowej na bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, konkurencyjność i emisję CO₂

STRESZCZENIE. Artykuł w rozdziale pierwszym przedstawia problematykę bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej związaną z ceną i dostępnością surowca uranu wykorzystywanego w procesie wytworzenia energii jądrowej. Ponadto zaprezentowano możliwość wykorzystania alternatywnego paliwa torowego w reaktorach jądrowych oraz regulację handlu paliwem jądrowym w Unii Europejskiej.

W następnym rozdziale opisano konkurencyjność zastosowania energii jądrowej w stosunku do innych źródeł energii. Podstawą oceny konkurencyjności było uwzględnienie kosztów budowy elektrowni oraz struktura kosztów produkcji energii elektrycznej w przypadku różnych źródeł energii.

W ostatnim trzecim rozdziale podjęto próbę wykazania, że wprowadzone w krajach Unii Europejskiej regulacje ograniczające redukują emisji szkodliwych substancji, w tym CO₂, do środowiska wpływają pozytywnie na poprawę konkurencyjności zastosowań technologii jądrowych.

SŁOWA KLUCZOWE: energia jądrowa, bezpieczeństwo dostaw, emisja CO₂, konkurencyjność, uran, dyrektywy, pakiet energetyczny

* Mgr — doktorant, Instytut Handlu Zagranicznego i Stosunków Europejskich, Kolegium Gospodarki Światowej, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa.

Wprowadzenie

Zagadnienie energii od kilku lat stanowi jedną z podstawowych i priorytetowych kwestii w Unii Europejskiej. Dyrektywy i rozporządzenia składające się na pakiety energetyczne oraz komunikat w sprawie Europejskiej Polityki Energetycznej i wciąż aktualizowane zielone księgi określają m.in. bezpieczeństwo dostaw energii, konkurencyjność i ograniczenie emisji CO₂ jako jedne z głównych założeń gospodarczych i środowiskowych Unii Europejskiej. Energia pozyskana z elektrowni jądrowych ma istotne znaczenie z punktu widzenia trzech wyżej wymienionych założeń.

Ważnym czynnikiem wpływającym na rozwój energetyki jądrowej jako źródła energii wolnego od emisji CO₂ są limity zawarte w pakiecie klimatyczno-energetycznym przyjętym w 2008 roku, który określa trzy główne cele:

- ✧ redukcję emisji CO₂ o **20%** do 2020 roku,
- ✧ wzrost zużycia energii ze źródeł odnawialnych w UE z obecnych **8,5 do 20%** w 2020 r., dla Polski ustalono wzrost z 7 do 15%, który określa szczegółowo Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. [1],
- ✧ zwiększenie efektywności energetycznej w roku 2020 o **20%**.

Dodatkowo komunikat dotyczący Europejskiej Polityki Energetycznej (An Energy Policy for Europe) z dnia 10 stycznia 2007 roku [2] wskazuje jako podstawowe wyzwania zrównoważenie rozwoju i bezpieczeństwo dostaw energii. Jedną z głównych pozycji zawartych w tym komunikacie jest zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko i ograniczenie podatności wspólnoty na wpływ czynników zewnętrznych. Czynniki te wynikają z zależności od cen importowanych paliw, które służą do wytwarzania energii elektrycznej [3]. Uwarunkowania te mogą zostać spełnione w dużej mierze przez rozwój energetyki jądrowej, której koszty i korzyści zostały opisane w dalszej części pracy.

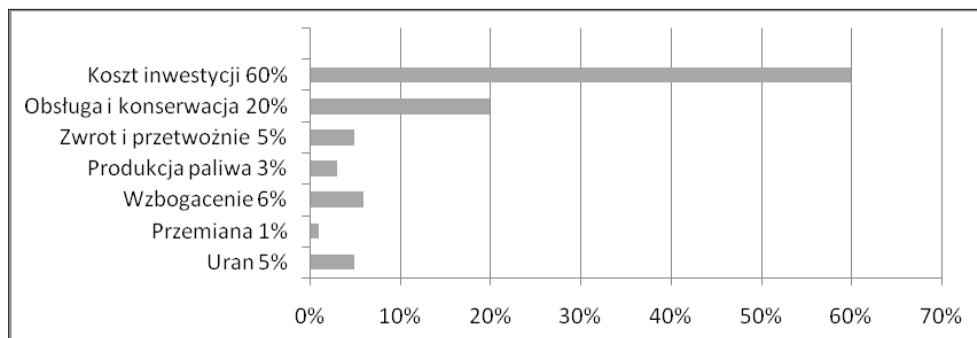
1. Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej

Bezpieczeństwo elektroenergetyczne krajów członkowskich UE, w tym Polski, wymaga zorganizowania odpowiedniej ilości dostaw energii elektrycznej po określonych ekonomicznie kosztach, przy równoczesnym zachowaniu wymogów ochrony środowiska [4]. Jednocześnie kluczowym zadaniem państw członkowskich UE, wynikającym z liberalizacji sektora energetycznego, jest uwzględnienie bezpieczeństwa dostaw poprzez stworzenie dogodnych warunków do rozwoju systemów energetycznych i bezpiecznej, zróżnicowanej struktury źródeł energii. Energia jądrowa jest w stanie zapewnić długoterminowe bezpieczeństwo oraz może przyczynić się do zróżnicowania dostaw energii ze względu na:

- ✧ możliwość pracy w podstawie obciążenia sieci,
- ✧ cechuje się bardzo niskimi kosztami zewnętrznymi,
- ✧ posiada wysoki współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej (ponad 90%),

- ✧ nieduży stopień wykorzystywania surowca uranu przy produkcji energii oraz stabilny poziom jego zasobów na świecie,
- ✧ niewielki wpływ cen surowca uranu na koszty wytworzenia energii,
- ✧ produkcja energii jądrowej nie jest uzależniona od warunków klimatycznych,
- ✧ energia pozyskana z elektrowni jądrowej jest słabo wrażliwa na zakłócenia między partnerami handlowymi np. brak ciągłości dostaw gazu,
- ✧ pozytywny geograficzny rozkład zasobów, producentów i dostawców uranu,
- ✧ paliwo potrzebne do funkcjonowania elektrowni jądrowych nie wymaga wyspecjalizowanych technicznie dróg transportu np. rurociągi, gazociągi itp.,
- ✧ na świecie występują stabilne i wystarczające moce produkcyjne potrzebne do wytworzenia paliwa jądrowego [5, 6].

Poziom kosztów paliwa wykorzystywanego przez elektrownie jądrowe w większości przypadków nie wpływa znacząco na proces i kształtowanie się cen energii, czego nie możemy zaobserwować przy produkcji energii z innych źródeł. Standardowy cykl wymiany prętów z wypalonym paliwem wynosi od jednego roku do dwóch lat. Potwierdza to fakt, że udział kosztów uranu w całkowitym koszcie produkowanej energii elektrycznej wynosi 5%. Dodatkowo nawet podwojenie ceny uranu spowoduje wzrost kosztu paliwa o 26%, a o 7% podniesie cenę energii elektrycznej [7]. Ponadto patrząc na cały proces produkcji paliwa, począwszy od wydobycia uranu poprzez wzbogacenie, przetworzenie, aż do uzyskania paliwa a następnie jego wycofania, koszt ten stanowi około 20% kosztów wytworzenia energii elektrycznej (rys. 1), co również nie jest dużym wskaźnikiem. Warto podkreślić, że w sposób łatwy elektrownie mogą zaopatrzyć się i zgromadzić większą ilość paliwa jądrowego, które może następnie być wykorzystane nawet przez kilka lat eksploatacji. Ma to również wpływ na przewidywalne i łatwe do budżetowania koszty zakupu paliwa.



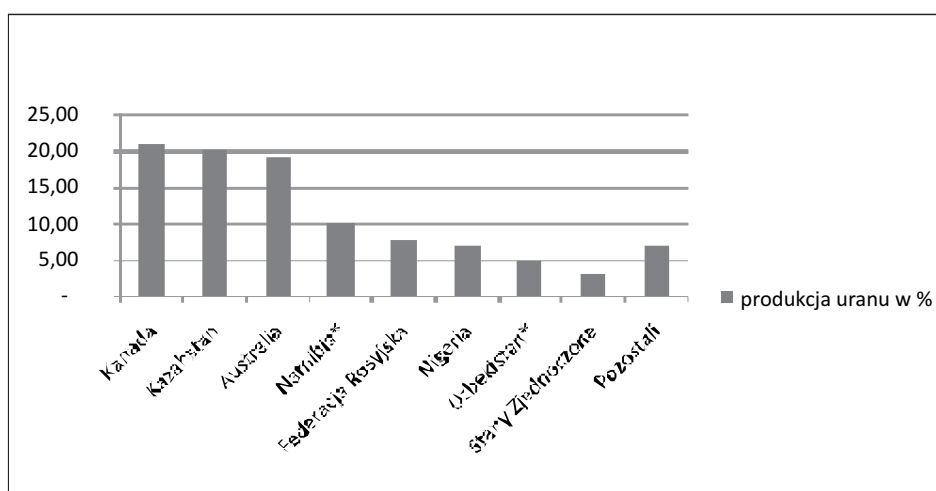
Rys. 1. Zestawienie kosztów wytworzenia energii jądrowej

Źródło: [15]

Fig. 1. Typical nuclear electricity generation cost breakdown

Na światowych rynkach możemy zaobserwować ponowny niewielki wzrost cen uranu, który wpływa na zwiększenie produkcji i aktywność w poszukiwaniu nowych złóż. Według OECD, w perspektywie kilku lat oczekuje się również niewielkiego wzrostu rynku uranu bez

większego wpływu na koszty wytwarzania energii [6]. Wydobycie uranu od połowy lat osiemdziesiątych jest mniejsze niż popyt wynikający z pracy czynnych reaktorów przemysłowych. Całkowitą podaż uzupełniają natomiast źródła wtórne, dodatkowe, do których możemy zaliczyć: zapasy oraz odpowiednio przystosowane, przetworzone i zubożone zasoby militarne. W kolejnych latach nastąpi stopniowe ograniczenie tych źródeł, a w 2020 roku prawdopodobnie źródła te zostaną wyczerpane, co niewątpliwie wpłynie na nasilenie się prac poszukiwawczych [3]. Możemy już zaobserwować, że duże spółki europejskie, takie jak pochodząca z Francji Areva, prowadzą badania lub rozwijają moce kopalni, których już są właścicielami lub udziałowcami w Środkowej Afryce, Nigrze, Kanadzie, Australii, Finlandii, Mongolii, Kazachstanie. Możliwości wydobywania uranu w UE bada także Finlandia, Słowacja i Rumunia, a Czechy dysponują czynnym kompleksem kopalnianym.



Rys. 2. Produkcja uranu w 2008 r.: 43 880 tU

Źródło: [6] * Oszacowane przez OECD

Fig. 2. Uranium Production in 2008: 43 880 tU

Rozkład zasobów rudy uranowej na świecie jest korzystny ze względu na położenie geograficzne i polityczne. Największymi zasobami dysponują wysoko rozwinięte kraje demokratyczne i wolnorynkowe (Kanada 21%, Australia 19%, Stany Zjednoczone 3%), ponadto większość kopalni uranu należy do międzynarodowych firm. Warto zwrócić uwagę na to, że czas wydobycia światowych zasobów uranu szacowany jest na 85–100 lat, przy założeniu obecnego poziomu jego zużycia, istniejących i eksploatowanych złóż oraz bieżących kosztów wydobycia około 130 USD/kg lub 93 EUR/kg. Obecnie 45% zapotrzebowania UE na uran zaspokajają Australia i Kanada [6].

Sytuacja związana z produkcją i poszczególnymi etapami cyklu paliwowego w różnym stopniu wpływa na bezpieczeństwo dostaw, np. produkcję i transport świadczy wielu dostawców, co zapewnia bezpieczeństwo i konkurencyjność cen. W innym przypadku, np.

procesu wzbogacania, liczba dostawców jest bardziej ograniczona, jednak 70% zapotrzebowania państw członkowskich zaspokajają dostawcy z UE [7].

Alternatywnym surowcem, nad którym od lat pięćdziesiątych trwają prace badawcze, który jest w stanie posłużyć w procesie produkcji paliwa do reaktorów jądrowych, jest pierwiastek Tor, symbol Th 90. Jego zasoby na ziemi są określane jako trzy-cztery razy większe od zawartości złóż uranu. Tor jest pierwiastkiem bardzo wydajnym. Podczas cyklu przetwarzania torowo-uranowym Th-U na rozszczepialny izotop neutronami termicznymi mającymi zastosowanie w reaktorach typu PWR (Pressurized Water Reactor), BWR (Boiling Water Reactor), CANDU (Canadian Deuterium Uranium) osiąga efektywność czterokrotnie większą. Tor okazuje się również bezpieczniejszy w zastosowaniu, ponieważ w przypadku jego przemiany wytwarza się rozszczepialny izotop uranu U-233, a paliwo jest tworzone dopiero podczas pracy reaktora. Ponadto praktyczny brak występowania izotopu Pu-236 w produktach przemian jądrowych paliwa sprawia, że odpady po procesie torowym są mniej radiotoksyczne. Nie stwarza zagrożenia w przypadku wykorzystania w zamachach terrorystycznych i jest tańszy w wydobyciu – około 80 USD/kg [8]. Jednak do tej pory nie wprowadzono w pełni przemysłowej technologii wydobycia toru, stąd nie szybko można się spodziewać zastosowania tego surowca na szeroką skalę.

W ramach Wspólnoty Europejskiej prawa do zakupu rudy uranu oraz prawo do zawierania umów na dostawę z terenu UE i spoza niego posiada Agencja Dostaw Euroatom. Traktat Euroatom art. 40 stanowi również o tym, aby wszyscy odbiorcy mieli równe prawa do dostaw rud i paliw jądrowych. Zasady ustanowione na mocy Traktatu Euroatom i przepisów określonych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) regulują handel materiałami jądrowymi rozszczepialnymi służącymi do celów pokojowych. Tak więc na mocy traktatu handel między krajami i operatorami nie podlega znaczącym ograniczeniom. Oczywiście w dalszym ciągu funkcjonują zabezpieczenia przewidujące konkretne regulacje ograniczające ten rynek. Stoją one na straży pokojowych zastosowań materiałów rozszczepialnych, jednocześnie nie działają ograniczająco dla uprawnionych uczestników tego rynku [9].

2. Wpływ energii jądrowej na konkurencyjność na tle innych źródeł energii

Większość decyzji inwestycyjnych podejmowana jest przez inwestorów, a rządy poszczególnych państw członkowskich mogą być zaangażowane w te działania jedynie na zasadach wspierających. Budowa reaktorów jądrowych pociąga za sobą znaczne koszty finansowe i ryzyko inwestycyjne, które nie zawsze da się oszacować. Wielkości kosztów budowy elektrowni jądrowych są zróżnicowane. Wpływa na to szereg czynników odzwierciedlających znaczenie warunków krajowych oraz doświadczenia firm zajmujących się realizacją procesu inwestycyjnego. Według wspólnego opracowania Międzynarodowej

Agencji Energetyki (IEA), Agencji Energii Atomowej (NEA) i Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju OECD koszty budowy „overnight” rozumiane jako EPC plus koszty właścicieli (grunty, chłodzenia infrastruktury, administracji budynków, licencje, zarządzanie projektem), do których nie zalicza się kosztu kapitału EDC (interest during construction) wahają się pomiędzy 1146 i 4223¹ EUR/kWe, z medianą o wartości 2935 EUR/kWe [10]. W badaniu tym zostały uwzględnione reaktory III generacji, zaawansowane konstrukcje reaktorów wodno-ciśnieniowych i zaawansowane reaktory wodne wrzące oraz nowoczesne reaktory wykorzystujące ciężką wodę jako chłodziwo i moderator.

Dodatkowo poniżej zostały przedstawione dane zgromadzone przez World Nuclear Association WNA na początku 2011 roku. Przedstawiają one oszacowane przez inwestorów koszty EPC budowy samych instalacji w różnych rejonach świata, spośród których na potrzeby pracy wybrano reaktory spełniające Europejskie Wymagania Bezpieczeństwa European Utility Requirements:

- ✧ Electric de France, Flamanville, EPR (European Pressurized Reactor) 1600 MWe: 4 mld EUR, 2434 EUR /kW – konstrukcji Arvea Siemens,
- ✧ Turcja FPL Turkey Point 2 x 1100 MWe is PWR Technlog AP1000 2564 EUR/kWe, konstrukcji Westinghouse,
- ✧ US Progress Energy Levy county 2 x 1105 MWe AP1000 2478 EUR/kWe,
- ✧ US NRG South Texas 2 x 1350 MWe ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) 5,7 mld EUR, co daje 2097 EUR/kWe, konstrukcji General Electric i Hitachi [11].

Możemy zaobserwować, że koszty wszystkich tych konstrukcji są porównywalne. Nieznacznie tańszy okazuje się reaktor ABWR konstrukcji GE Hitachi, który pod względem geograficznym jest użytkowany w Japonii, Tajwanie oraz Stanach Zjednoczonych i zalicza się do generacji III. Pozytywnym aspektem zastosowania tej technologii jest to, że projekt budowy został już zatwierdzony przez NRC (Nuclear Regulatory Commission) w Stanach Zjednoczonych, co może spowodować zmniejszenie obciążeń regulacyjnych do zatwierdzenia w Europie. Dodatkowym utrudnieniem zwiększającym koszt budowy na rynku UE może być fakt przystosowania go do zasilania sieci 50 Hz, a nie jak w Stanach Zjednoczonych i części Japonii 60 Hz.

Znajdujące się na ukończeniu obiekty zlokalizowane w Europie charakteryzują się następującym zaangażowaniem kapitału „overnight” uwzględniającym tylko EPC:

- ✧ Francja EdF Flamanville reaktor III generacji EPR 1600 MWe: szacowany w 2008 r., koszt to 4 mld EUR, w praktyce w 2010 r. wzrósł do około 5,0 mld EUR, to 3125 EUR/kW,
- ✧ Finlandia TVO Olkiluoto reaktor III generacji EPR 1600 MWe, budowa szacowana na 3 mld EUR, w ostatecznym rozrachunku ma kosztować 4,7 mld EUR, to 2937,50 EUR/kWe [12].

W dużej mierze przyczyną wzrostu tych kosztów były opóźnienia wykonywanych prac spowodowane brakiem bieżących doświadczeń oraz potrzebą nauczenia się wielu rzeczy od nowa, zdobycie doświadczenia i know-how. Blok budowany w Olkiluoto jest właściwie prototypem. Występująca znaczna liczba podwykonawców spowodowała trudności organi-

¹ Jednostka waluty przeliczona z USD na Euro po kursie z dnia 11.07. 2011, EUR/USD 1,397 według Money.pl

zacyjne i opóźnienia montażu. Brak modułowej zabudowy był kolejnym czynnikiem, który wywarł wpływ na opóźnienia. Optymistycznym przykładem może być jednak inwestycja w Chińskim Taishan, gdzie budowane bloki EPR nie mają żadnych opóźnień, a ich koszt wynosi 2424 EUR/ kWe.

Standardem powoli staje się fakt, że tak jak w przypadku Olkuluoto, zgodnie z umową wszelkie dodatkowe koszty, które mogą się pojawić w trakcie prac, zobowiązany jest pokryć generalny wykonawca [12]. Z jednej strony znacznie zmniejsza to ryzyko inwestycji, choć z drugiej może rodzić niepotrzebne spory pomiędzy inwestorem a wykonawcą. Dodatkowo wykonawca może ukrywać pewne mankamenty budowy, co z kolei będzie wpływało na późniejsze bezpieczeństwo podczas pracy. Wydaje się to jednak mało prawdopodobne, ze względu restrykcyjnego podejścia Urzędów Dozoru Jądrowego państw członkowskich UE.

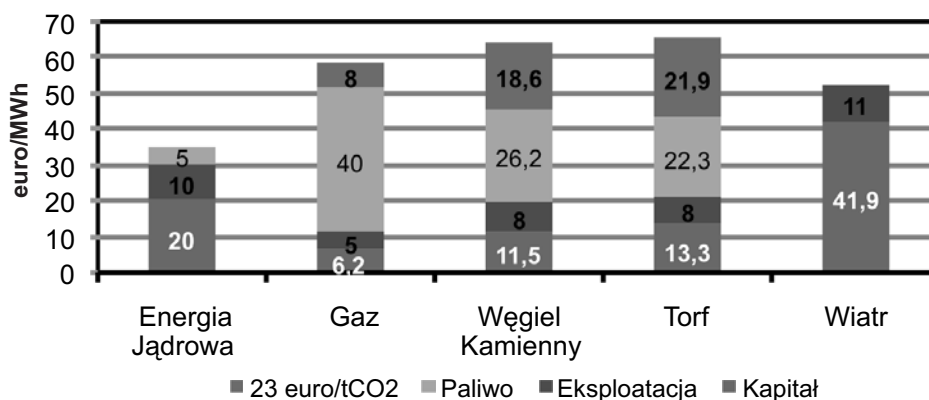
Energia jądrowa na tle innych technologii przedstawia się następująco. Koszt budowy elektrowni węglowej z tzw. instalacją CCS (Carbon Capture and Storage) do wychwytywania dwutlenku węgla i składowania go pod ziemią szacowany przez Polską Grupę Energetyczną wynosi 2,4 mln EUR 1 MWe w fazie projektu inwestycyjnego, nie uwzględniającego EDC [13]. Porównując to do kosztu budowy 1 MWe na poziomie 2,5 mln EUR reaktora ERP 1600 MWe oszacowanego przez Eelectric de France w przypadku Flamanville, daje nam wynik bardzo do siebie zbliżony.

Warta uwagi jest finansowa analiza wyspecjalizowanej firmy Moody's Investors Service, która oszacowała, że zdyskontowany koszt budowy nowej elektrowni jądrowej wynosi ponad 5400 EUR/kWe. Jeśli uzyskany wynik porównamy z kosztami budowy elektrowni wiatrowej 1538 EUR/kWe, możemy zaobserwować znaczną różnicę. Natomiast rozpatrując stopnie wyzyskania mocy zainstalowanej w tych elektrowniach możemy zaobserwować kolejno 0,9 dla elektrowni jądrowej i 0,35 dla elektrowni wiatrowej, różnica więc staje się niezauważalna [14].

Następnym czynnikiem decydującym o ekonomicznej opłacalności energetyki jądrowej jest oszacowanie, w jaki sposób dochody z działalności powiązane będą z ekonomią rynku energii elektrycznej [10]. Inwestorzy wolą angażować się w projekty, które dają zwrot kosztów inwestycji w krótszym okresie czasu. Czas budowy elektrowni jądrowych wynosi 5–7 lat. Ze względu na bardziej skomplikowane procesy techniczne i dodatkową biurokrację pochłania znacznie więcej czasu, niż w przypadku turbin gazowych pracujących w cyklu skojarzonym Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) oraz odnawialnych źródeł energii, których czas pełnego cyklu inwestycyjnego wynosi około dwóch lat. Budowa elektrowni jądrowej jest od dwóch do czterech razy bardziej kapitałochłonna niż w przypadku elektrowni opartej na turbinach gazowych typu CCGT. W strukturze kosztów wytworzenia energii jądrowej, koszty inwestycje zajmują około 60% (rys. 1) zaś w przypadku elektrowni gazowych typu CCGT udział ten wynosi jedynie około 20% kosztów [15].

Poniższy wykres przedstawia analizę fińskich ekonomistów i wykazuje opłacalność produkcji prądu z elektrowni jądrowej w EUR/MWh. Jest to najnowsza wersja analizy uwzględniająca trudności, które wystąpiły przy budowie Olkuluoto 3. Energia jądrowa zajęła tu pierwsze miejsce, na drugim miejscu znajduje się energia pozyskana z wiatru, zaraz za nią kolejno energia z gazu, węgla kamiennego i torfu. Nawet gdyby nie uwzględniać emisji CO₂ jako dodatkowego kosztu, wciąż energia jądrowa pozostanie najbardziej konkurencyjna,

natomiast energia wiatrowa wraz z gazową spadną na ostatnie miejsce, drugą i trzecią pozycję z niewielką różnicą zajmą wtedy energia pozyskana z torfu i węgla kamiennego. Na podstawie tej analizy parlament Finlandii zdecydował o budowie kolejnego nowego bloku jądrowego.



Rys. 3. Koszty wytwarzania energii elektrycznej w Finlandii
Źródło: Tarjanne Risto, Kiviso Aija [21]

Fig. 3. Costs of electricity production in Finland

Podobnie czeska grupa energetyczna CEZ określa swoje elektrownie jądrowe pod względem kosztu wytworzenia jako najtańsze w grupie. Odnosić tej analizy do całego rynku UE raczej nie ma sensu, ale wykazuje ona możliwość osiągnięcia tańszej energii elektrycznej uzyskanej z reaktorów jądrowych w poszczególnych państwach UE.

Podczas realizacji procesu inwestycyjnego dotyczącego budowy elektrowni jądrowej występuje podwyższone ryzyko ekonomiczne, które wiąże się z dużymi kosztami początkowymi. Okres zwrotu zainwestowanego kapitału wynosi 15–20 lat ciągłej bezusterkowej pracy elektrowni. Przy całkowitym okresie eksploatacji wynoszącym 60 lat zwrot kapitałów z inwestycji zajmuje około 1/3 cyklu „życia” elektrowni jądrowych. Dodatkowym czynnikiem, który zwiększa zaangażowanie kapitału jest potrzeba zgromadzenia funduszy do 50 lat po dezaktywacji reaktora, które będą wykorzystane do późniejszej gospodarki i utylizacji odpadów radioaktywnych.

Z punktu widzenia nauki ekonomii, koszt budowy nowej, pod względem generacji, jednostki (prototypu) jest zawsze najwyższy. Dominująca ekonomia skali sprawia, że zmniejszenie wielkości bloków przy dzisiejszej technologii nie wydaje się być uzasadnione ekonomicznie, natomiast większe rozmiary elektrowni jądrowych > 500 MWe oznaczają dla inwestorów większe ryzyko na późniejszych etapach realizacji procesu inwestycyjnego. Dlatego dla inwestorów branżowych współpraca przy budowie elektrowni jądrowych może się okazać korzystna z punktu widzenia wykorzystania ekonomii skali. Osiągnięte oszczędności w kolejnych elektrowniach mogą wynosić 10–40% kosztów pierwszej [16]. Oszczędności te mogą zostać osiągnięte przez:

- ✧ wydajne wykorzystanie wykwalifikowanego personelu, które pozwoli uniknąć ryzyka braku doświadczonych pracowników,
- ✧ zakup gotowych i wcześniej stosowanych reaktorów jądrowych, na które można uzyskać korzystniejsze ceny zakupu,
- ✧ rozłożenie kosztów inwestycji pierwszej jednostki (prototypu) związanych z nowym projektem poprzez współpracę w konsorcjach, zarówno inwestorów jak i producentów,
- ✧ zastosowanie tej samej konstrukcji, technologii podczas budowy pozwoli ujednolicić procedury i wymagane zgody administracyjne,
- ✧ podobne konstrukcje reaktorów pozwolą stworzyć jednakowe rozwiązania dotyczące obsługi technicznej i pomogą opracować jedną skuteczną metodę wycofania z eksploatacji [15].

Ważnym czynnikiem wpływającym na konkurencyjność jest zatem dążenie do ustanowienia stabilnych ram administracyjnych tak, by warunki prawne dla nowych inwestycji były precyzyjnie określone i przewidywalne. W przypadku elektrowni jądrowych, czas zwrotu z inwestycji jest rozciągnięty na długie lata. Kluczową kwestią dotyczącą podjęcia decyzji inwestycyjnych jest to czy np. przedsiębiorstwo będzie działało w przyjaznym otoczeniu zewnętrznym, czy państwo będzie przygotowane w zakresie wydawania licencji oraz zezwoleń na gospodarowanie i likwidację odpadami promieniotwórczymi, czy przedsiębiorstwa będą mogły skorzystać z odpisów podatkowych, preferencyjnego systemu ubezpieczeń ryzyk, gwarancji kredytów czy innych zachęt. Przy tej okazji należy też podkreślić, że energetyka jądrowa nie może być dotowana w państwach UE przez rządy. Dlatego ewentualne korzyści muszą dotyczyć całego sektora i być zgodne z zasadami uczciwej konkurencji.

Dziś budowa elektrowni jądrowych w dużej mierze realizowana jest ze środków komercyjnych tak, więc firmy zaangażowane w budowy dostrzegły zalety i opłacalność produkcji energii z tego źródła. Przykładem takich realizacji jest projekt fiński, gdzie większość kosztów pokrywa konsorcjum firm, które w przyszłości będą jednym z największych odbiorców energii. Firmy te w zamian za finansowanie otrzymają gwarancje zapewniające niezmienną cenę energii dla właścicieli i inwestorów zbliżoną do kosztów wytworzenia.

W ciągu ostatnich 20 lat możemy zaobserwować nieustanny spadek kosztów eksploatacji przy jednoczesnym zachowaniu wydajności elektrowni jądrowych. Jedną z kluczowych kwestii jest niski koszt krańcowy wytworzenia energii jądrowej [15]. Zachęcać to będzie właścicieli elektrowni jądrowych do występowania o przedłużenie zezwoleń na eksploatację.

3. Energia jądrowa a emisja CO₂

Czynnikiem, który determinuje rozwój i budowę elektrowni jądrowych jest brak emisji CO₂ i gazów cieplarnianych. Koszt wytworzonej energii elektrycznej jest całkowicie niezależny od opłat związanych z emisją CO₂. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE

2009/29/WE przyjęta 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca Dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych popularnie zwanej ETS (The European Union Emissions Trading Scheme) [2] wprowadza od 2013 roku ograniczenie bezpłatnych uprawnień emisji CO₂ do 80%, aż do 2020 r. zredukuje je do poziomu 30%. W roku 2027 całkowicie znosi przydział nieodpłatnych uprawnień emisji CO₂. Choć będzie istniała możliwość przejściowego korzystania z przydziału nieodpłatnych uprawnień dla krajów realizujących programy modernizacji i poprawy infrastruktury, w dalszym ciągu nie zmieni to faktu, że za emisję CO₂ kraje członkowie będą musiały płacić. Według prognozy Komisji Europejskiej cena uprawnień do emisji CO₂ w 2020 r. będzie wynosić 40 euro za tonę CO₂, co przy aktualnej cenie 12 euro za tonę świadczy o tendencji wzrostowej.

Patrząc na perspektywiczną rolę rozwoju technologii CCS w redukcji CO₂, na dzień dzisiejszy ze względu na duże koszty wychwytu i składowania około 60 euro za tonę nie przedstawia ona ekonomicznie uzasadnionej alternatywy. Prognoza wykonana również przy poziomie 60 euro za tonę CO₂, przez Politechnikę Łódzką, pokazuje 48% udział kosztu zmniejszenia emisji CO₂ w koszcie wytworzenia energii elektrycznej, który zostanie osiągnięty do roku 2030r [18]. Powyższe dane świadczą o nieuchronnym wzroście cen energii elektrycznej w horyzoncie czasowym prawie dwóch dekad. Zwiększenie udziału elektrowni jądrowych w bilansie energetycznym krajów członkowskich UE będzie określało dynamikę wzrostu tych cen. Wzrost cen wpłynie niekorzystnie na konkurencyjność gospodarek wysoko emisyjnych, takich jak Polska. W perspektywie czasu może to wpłynąć na obniżenie wzrostu gospodarczego, zahamowanie bezpośrednich inwestycji zagranicznych i relokacji już istniejących przedsiębiorstw, zwiększeniem bezrobocia itp. Może nasilić się zjawisko carbon leakage polegające na przenoszeniu wysokoemisyjnej i energochłonnej produkcji do tych miejsc na świecie, gdzie koszt pozyskania energii i korzystania ze środowiska jest niższy [5].

Według NEA, energia jądrowa stanowi realnie dostępne źródło energii pozwalające zmniejszyć ryzyko globalnej zmiany klimatu i przyspieszyć redukcję CO₂ [19]. Ze względu na ochronę środowiska, energia jądrowa może przyczynić się również do rozwoju zastosowań niezwiązanych z energią elektryczną np. ogrzewanie, produkcja wodoru, wody pitnej [15].

Rolą elektrowni jądrowych nie jest całkowite wyeliminowanie CO₂, ale wyznaczenie efektywnej drogi ograniczenia produkcji i emisji gazów cieplarnianych. Tylko w UE pracują 153 [2] bloki elektrowni jądrowych, które pozwalają zaoszczędzić 700 milionów ton CO₂, wynosi to mniej więcej tyle, ile emisja wszystkich samochodów w państwach członkowskich. Energia jądrowa stanowi, zatem jedno z dostępnych możliwych rozwiązań pozwalających zmniejszyć emisję CO₂ [20].

Podsumowanie

Uwzględniając bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej Unii Europejskiej nie sposób przeoczyć ogromnego potencjału energii jądrowej. Do głównych czynników, wpływa-

jących na to bezpieczeństwo, należy stabilny poziom zasobów surowca uranu, który wpływa pozytywnie na ciągłość dostaw paliwa jądrowego. Potwierdza to również długi cykl wymian paliwa, perspektywa zastosowania toru oraz stosunkowo prosty obrót paliwem dla uprawnionych uczestników rynku. Idąc dalej, z ekonomicznego punktu widzenia koszt budowy elektrowni jądrowej jest porównywalny do kosztu budowy elektrowni węglowej z instalacją CCS. Wysokie koszty paliwa w przypadku instalacji gazowych CCGT oraz mało wydajne elektrownie wiatrowe potwierdzają konkurencyjność zastosowań elektrowni jądrowych. Energia jądrowa w dobie wygasających, nieodpłatnych uprawnień do emisji gazów cieplarnianych oraz rosnących cen emisji CO₂ jest liderem pod względem kosztów wytwarzania energii elektrycznej na tle innych źródeł energii. Tej sytuacji sprzyjają również rosnące ceny innych paliw. Zobowiązania przyjęte przez Unię Europejską zmierzające do zwiększenia redukcji emisji CO₂, wzajemnie oddziałują na siebie, powodując zwiększenie zastosowań energii jądrowej w perspektywie najbliższych lat. Poniższa tabela 1 przedstawia

TABELA 1. Główne korzyści i koszty związane z zastosowaniem energetyki jądrowej

TABLE 1. The main benefits and costs associated with the use of nuclear energy

Potencjalne korzyści:	Potencjalne koszty:
Wysoki wskaźnik mocy zdolnej do eksploatacji	Wysokie koszty inwestycji (zwrot kapitałów do 20 lat)
Cena prądu wytworzonego mniej czuła na fluktuacje ceny surowca. 5% udział ceny rudy uranu w całkowitym koszcie energii	Wysoce czasochłonna likwidacja odpadów – wymaga utworzenia dodatkowych funduszy celowych
Możliwość pracy w podstawie obciążenia sieci	Długi czas budowy – możliwe opóźnienia
Niskie koszty zewnętrzne	Protesty społeczne
Brak emisji CO ₂	Problemy techniczne, które mogą nastąpić przy prototypach
Przyjazne nastawienie administracji, zwiększenie dywersyfikacji dostaw	Presja właścicieli elektrowni na przedłużanie eksploatacji już istniejących obiektów jądrowych
Niskie koszty produkcji i eksploatacji	Dodatkowe koszty związane z zamknięciem elektrowni
Stabilne i dostępne zasoby surowca wykorzystywanego w procesie produkcji paliwa	Trzęsienia ziemi i klęski żywiołowe (w zależności od rejonu), które mogą spowodować szkody dla reaktorów i wymusić przerwy w dostawie energii
Brak dodatkowych opłat związanych z prawem do emisji CO ₂	Zagrożenie bezpieczeństwa związanego z terroryzmem
Konkurencyjne ceny wytworzenia jednostki MWh w porównaniu z innymi dostępnymi źródłami energii	
Długi cykl paliwowy wydłuża czas dostaw paliwa	
Możliwe równoległe wykorzystanie w innych dziedzinach	
Wysokie bezpieczeństwo pracy	
Budowa wymaga powierzchni kilku km ²	

Źródło: opracowanie własne

zestawienie kosztów i korzyści wykorzystania energii jądrowej. Bilans przedstawiony poniżej pokazuje, że wzrost zastosowań energii jądrowej niesie za sobą więcej korzyści niż kosztów. Oczywiście zawsze będą odżywały negatywne stereotypy społeczne dotyczące energetyki jądrowej, czy będą one dominować? Odpowiedzią zapewne będzie życiowy pragmatyzm, który odezwie się w momencie, kiedy rosnące ceny energii elektrycznej zajrzą do portfeli konsumentów i spowolnią wzrost gospodarczy.

Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [2] SOWIŃSKI J., 2010 – Analiza wpływu na polski system energetyczny propozycji Dyrektywy IED w sprawie zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli. XXIV konferencja z cyklu „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”. Zakopane, 10–13 października 2010; *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 401–410.
- [3] An energy policy for Europe, Communication from The Commission to The European Council and The European Parliament, Commission of The European Communities, Brussels 10.01.2007 (COM 2007) s. 16.
- [4] DOŁĘGA W., 2010 – Rola uregulowań prawnych w procesie zapewnienia bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju. XXIV konferencja, Zakopane, 10–13 października 2010; *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 105–117.
- [5] The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy, NEA, OECD no 6358 2010, s. 21.
- [6] Uranium 2009 – Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD, NEA and the IAEA no. 6891, 2010 s. 19–45; 645
- [7] KANIEWSKI J., 2008 – Bezpieczeństwo dostaw paliwa dla elektrowni jądrowych w Unii Europejskiej., *Postępy Techniki Jądrowej* nr 2 (51) 2008, Państwowa Agencja Atomistyki, s. 13–27.
- [8] CHWASZCZEWSKI S., 2008 – Czy dostępność paliwa jądrowego może być barierą dla przyszłego rozwoju energetyki jądrowej? XXII Konferencja z cyklu „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”, Ustroń, 19–22 października 2008; *Sympozja i Konferencje* nr 73. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 7–15.
- [9] <http://apw.ee.pw.edu.pl/tresc/-pol/17-RamyPrawneEnergetykiJadrowejwUE.doc>
- [10] Projected Costs of Generating Electricity (2010 Edition) – Studium NEA Nuclear Energy Agency i IEA, OECD 2010, s. 19- OECD 2003 23, 61.
- [11] <http://www.world-nuclear.org/info/inf02.html>
- [12] <http://www.atom.edu.pl/index.php/ekonomia/spor-o-olkiluoto-3.html>
- [13] <http://www.rp.pl/artypul/612502.html>
- [14] SOWIŃSKI J., 2008 – Analiza kosztów wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych. XXII Konferencja z cyklu „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”, Ustroń, 19–22 października 2008; *Polityka Energetyczna* t. 11, z. 1. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 465–476.
- [15] Nuclear Energy Today, Nuclear Development, NEA / s. 60–61.

- [16] Komunikat Komisji Europejskiej do Rady i Parlamentu Europejskiego. Ramowy program energetyki jądrowej, Bruksela, dnia 10.1.2007 KOM 844 wersja ostateczna, s.16
- [17] <http://www.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1089&context=feem>
- [18] <http://www.cire.pl/pokaz-pdf-%252Fpliki%252F2%252Fkosztyemisjco2.pdf>
- [19] BP Energy Outlook 2030- Londyn 2010 s. 20.
- [20] http://www.iea.cyf.gov.pl/nowa/images/stories/iea/ej/szkola_ej/referaty/cykl_paliwowo/2_A_Strupczewski_wplyw_energetyki.pdf
- [21] TARJANNE R., KIVISO A., 2008 – Comparison of Electricity Generation Cost. Lappeenranta Teknillinen Yliopisto, Digipaino, ISBN 978-952-214-588-8 (PDF), s. 9.

Rafał WIDERSKI

Impact of nuclear energy for electricity supply security, competitiveness and CO₂ emissions

Abstract

The first chapter of the article presents the issues of security of electricity supply related to uranium price and availability of raw uranium which is used to nuclear energy generation. In addition, the text presents the possibility of using alternative fuel like thorium in nuclear reactors. Then, the text shows the rules nuclear fuel trade in the European Union.

The next chapter describes the competitiveness of nuclear energy use in comparison to other energy sources. The assessment of competitiveness was based on power plant construction costs and the cost structure of electricity production for different energy sources.

Finally, an attempt was made to demonstrate that introduced in the European Union regulations restricting reduction of harmful emissions including CO₂ into the environment has a positive effect on improving the competitiveness of nuclear technologies.

KEY WORDS: nuclear energy, security of supply, CO₂ emissions, competitiveness, uranium, directives, energy package