

ASPEKTY EKONOMICZNE ROZWOJU ENERGETYKI JĄDROWEJ

Andrzej Strupczewski
Instytut Energii Atomowej POLATOM

1. RENESANS ENERGETYKI JĄDROWEJ

1.1. Renesans w krajach Unii Europejskiej

Pierwszym krajem Unii Europejskiej, który po wieloletniej przerwie wznowił budowę elektrowni jądrowych była Finlandia. Po analizach ekonomicznych wykonanych przez Uniwersytet w Lappeenranta rząd fiński podjął w styczniu 2002 roku „Decyzję zasadniczą” (Decision in Principle) stwierdzającą, że budowa nowej elektrowni jądrowej w Finlandii leży w interesie społeczeństwa, a parlament fiński ratyfikował tę decyzję w maju 2002. Analizy ekonomiczne były poparte wieloletnim pozytywnym doświadczeniem – cztery pracujące w Finlandii bloki jądrowe dostarczały prąd tanio i niezawodnie, wykazując współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej na poziomie około 92-94%. Zdaniem Finów, budowa elektrowni jądrowych była najlepszym interesem jaki kiedykolwiek zrobiły fińskie przedsiębiorstwa energetyczne. Elektrownie te pracowały też bezpiecznie i czysto – były prawdziwymi dobrymi sąsiadami i cieszyły się poparciem miejscowej ludności. Społeczeństwo fińskie nie obawiało się też składowania odpadów radioaktywnych – składowiska odpadów o niskiej i średniej aktywności były utworzone i eksploatowane na terenie samych elektrowni, a powstające składowisko dla odpadów o wysokiej aktywności ma pomieścić całość wypalonego paliwa z obecnych i zaplanowanych przyszłych elektrowni jądrowych w Finlandii.

O stopniu poparcia dla energetyki jądrowej świadczy fakt, że gminy fińskie konkurowały ze sobą o to, w której z nich ma powstać to składowisko odpadów wysokoaktywnych i obecnie po rozstrzygnięciu konkursu trwają już prace podziemne zmierzające do uruchomienia składowiska w Onkalo w 2020 roku. Przetarg na budowę elektrowni jądrowej wygrała firma AREVA oferująca dostarczenie „pod klucz” elektrowni jądrowej z francusko-niemieckim reaktorem EPR (European Pressurized Reactor), najnowszym obecnie na rynku reaktorem III generacji. Budowa tego reaktora w Olkiluoto trwa.

Wkrótce po Finlandii również i Francja rozpoczęła budowę nowej elektrowni jądrowej z reaktorem EPR, wznoszonym w elektrowni jądrowej Flamanville i podjęła decyzję o rozpoczęciu w 2012 roku budowy kolejnego reaktora EPR w Penly. W styczniu 2008 roku, po dwuletnich analizach ekonomicznych i obszernej dyskusji społecznej, rząd brytyjski wydał „Białą Księgę” uzasadniającą konieczność budowy nowych elektrowni jądrowych w Wielkiej Brytanii [1]. Minister gospodarki podkreślił, że nie będzie się to wiązało z kosztami dla podatników, bo koszty budowy elektrowni jądrowych, ich likwidacji i unieszkodliwiania odpadów radioaktywnych będą ponosiły w pełni przedsiębiorstwa energetyczne.

Mimo protestów Greenpeace u decyzja ta została przyjęta z pełną aprobatą przez społeczeństwo, do tego stopnia, że nawet minister gospodarki w opozycyjnym „gabinecie cieni” oświadczył, że opozycja uważa za swój obywatelski obowiązek („*duty*”) odłożyć na bok spory polityczne i walkę o głosy wyborcze i współpracować z rządem dla dobra kraju [2] na rzecz rozwoju energetyki jądrowej.

We Włoszech, które po awarii w Czarnobylu wycofały się z energetyki jądrowej, przerwały budowę nowych reaktorów i zamknęły istniejące elektrownie jądrowe, na jesieni 2008 roku premier a potem minister gospodarki oświadczyli, że Włochy popełniły w ten sposób „straszną omyłkę” która kosztowała je 20 lat opóźnienia w rozwoju gospodarczym i ponad 50 miliardów euro strat [3]. W następnych miesiącach włoskie przedsiębiorstwo energetyczne ENEL podpisało porozumienie z EDF o wspólnej budowie 4 elektrowni jądrowych z reaktorami EPR we Włoszech. Budowa pierwszej z nich ma zacząć się w 2013 roku [4]. Warto dodać, że zanim rząd włoski podjął decyzję o rozwoju energetyki jądrowej we Włoszech, energetycy włoscy już wcześniej zdali sobie sprawę z konkurencyjności ekonomicznej elektrowni jądrowych, kupili w Hiszpanii elektrownie jądrowe o mocy 2650 MWe [5] i elektrownię jądrową Mochowce z blokami 1 i 2 w Słowacji i rozpoczęli budowę dwóch dalszych bloków nr 3 i 4 w tej elektrowni.

Nawet Watykan, który zwykle nie miesza się do spraw gospodarczych, podkreślał przez wiele lat ustami papieża znaczenie energii jądrowej dla ludzkości [6], a na rok przed decyzją rządu włoskiego Przewodniczący Papieskiej Rady Sprawiedliwości i Pokoju, kardynał Renato Martino, oświadczył, że : *„Odrzucanie energii jądrowej z powodów ideologicznych lub z obawy przed wypadkami może się okazać błędem, a czasem mieć paradoksalne skutki. Zwróćmy uwagę na Włochy, które zrezygnowały z energetyki jądrowej w 1987 roku ale importują energię elektryczną z francuskich elektrowni jądrowych”* [7]

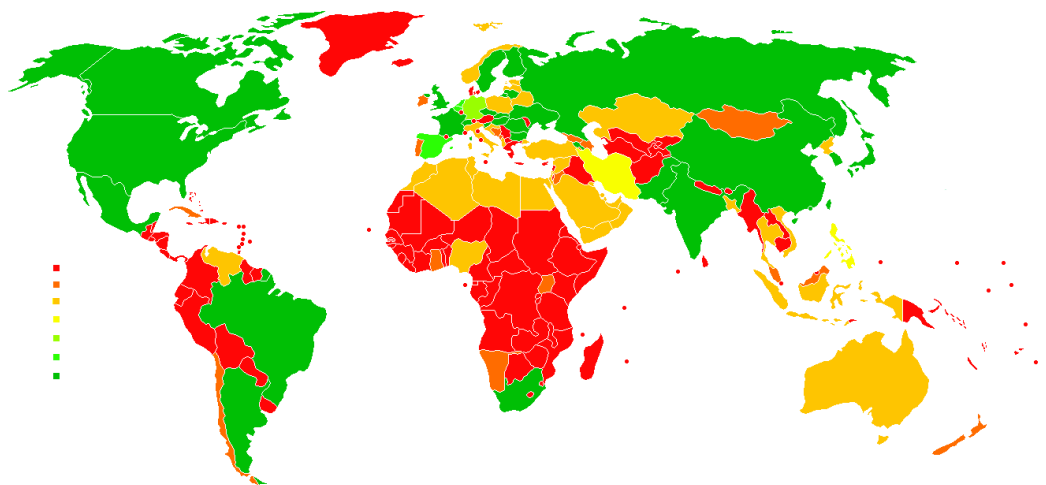
Obecna decyzja rządu włoskiego przywróciła nadzieję na obniżenie kosztów energii elektrycznej, która we Włoszech jest bardzo wysoka – najwyższa po cenie płaconej przez odbiorców prądu w Danii.

Powrót do energetyki jądrowej ogłosiła również w lutym 2009 roku Szwecja [8], kraj, który przez wiele lat deklarował odejście od energetyki jądrowej, a nawet doprowadził do zamknięcia elektrowni jądrowej Barseback. Obecnie rząd szwedzki zapowiada, że energetyka szwedzka będzie opierać się na elektrowniach wodnych i jądrowych, a prasa światowa komentuje, że jest to wyrazem świadomości ekologicznej Szwecji [9].

Podobne decyzje podejmowane są w innych krajach Europy. W Holandii, gdzie rząd oznajmił, że nie będzie budowy nowych elektrowni jądrowych do roku 2011, firma energetyczna DELTA złożyła wniosek o zezwolenie na budowę nowych elektrowni jądrowych w Borselle [10] z przewidywanym terminem rozpoczęcia budowy w 2012 roku. W Belgii minister energetyki oświadczył, że energia jądrowa jest dla Belgii niezbędna i postawił wniosek o przedłużenia licencji pracujących obecnie reaktorów o dalsze 10 lat [11], co oznacza wycofanie się z wcześniejszych decyzji o odejściu od energetyki jądrowej. W Niemczech, które przez szereg lat planowały likwidację energetyki jądrowej, zarówno minister gospodarki [12] jak i kanclerz pani Angela Merkel [13] wypowiedzieli się za koniecznością utrzymania reaktorów energetycznych w ruchu. W Czechach rozbudowa EJ Temelin ma zacząć się w 2013 roku [14], na Słowacji trwa budowa bloków 3 i 4 w EJ Mochowce za 2.7 mld euro i planowana jest budowa nowej elektrowni jądrowej w Jasłowskich Bohunicach, na Węgrzech planowany jest przetarg na budowę nowej elektrowni jądrowej, która ma zacząć pracą w 2020 roku [15], w Bułgarii budowane są dwa reaktory WWER-1000 w EJ Belene [16], Estonia ma wybudować własną elektrownię atomową do 2023 roku [17] a w Finlandii w ślad za budowanym obecnie reaktorem EPR w Olkiluoto złożono już wnioski o zezwolenie na budowę dalszych trzech elektrowni jądrowych [18].

1.2. Rozwój energetyki jądrowej poza Unią Europejską

W krajach europejskich poza Unią, Szwajcaria zamierza zbudować nowe elektrownie jądrowe w Beznau i w Mühleberg [19], Albania z Chorwacją planują wspólną budowę elektrowni jądrowej nad jeziorem Shkoder [20], Białoruś rozpoczęła przygotowania do budowy EJ mającej rozpocząć pracę w 2018 roku [21], a Rosja zamierza zbudować 26 reaktorów jądrowych do 2030 roku [22]. Poza Europą rozbudowa elektrowni jądrowych przebiega jeszcze szybciej. Chiny rozpoczynają budowę coraz nowych bloków i planują doprowadzić moc swych elektrowni jądrowych do 70 GWe do 2020 roku [23], Korea planuje zbudowanie 12 nowych elektrowni jądrowych do 2022 roku [24], a Japonia, gdzie obecnie pracują 53 reaktory, zamierza zbudować dalsze 16 bloków dużej mocy by w 2017 roku energia jądrowa dostarczała 40% potrzebnej energii elektrycznej [25]. Indie budują nowe elektrownie w oparciu o własne konstrukcje i reaktory importowane z Rosji [26] i zamierzają osiągnąć moc elektrowni jądrowych 20 GWe w 2020 r., a dalsze elektrownie powstają lub są projektowane w Turcji, Egipcie, Arabii Saudyjskiej, Zjednoczonych Emiratach Arabskich, w Indonezji, w RPA, Brazylii, Argentynie, krajach arabskich nad Morzem Śródziemnym i w innych krajach. W USA złożono już wnioski o zezwolenie na budowę ponad 30 bloków jądrowych dużej mocy, a opinia publiczna zdecydowanie popiera rozwój energetyki jądrowej [27].



Rys. 1. Polityka różnych państw wobec rozwoju energetyki jądrowej [28].

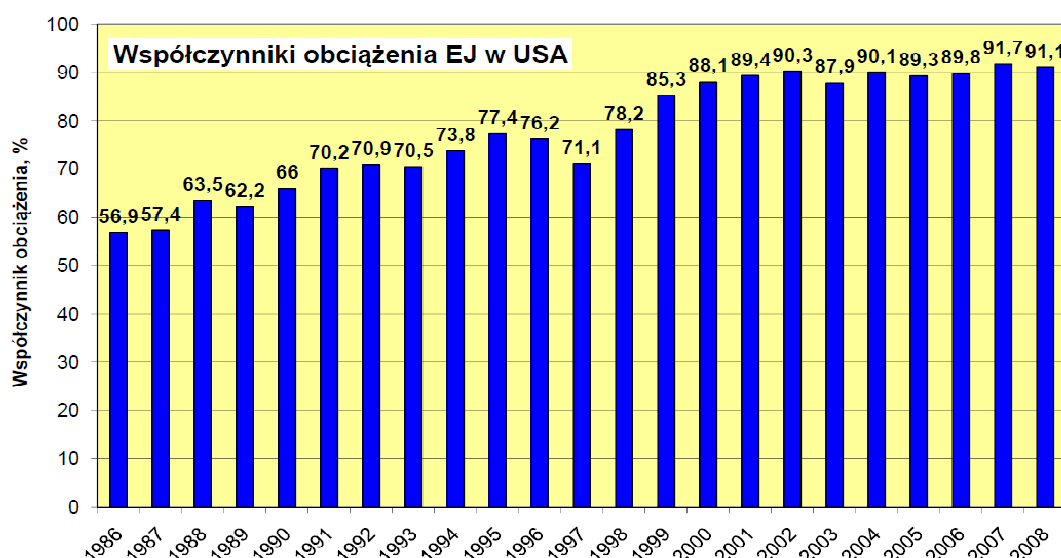
Państwa posiadające elektrownie jądrowe (EJ) i budujące lub planujące nowe
Państwa posiadające EJ ale nie planujące budowy nowych
Państwo (Niemcy), które podjęło decyzję o likwidacji wszystkich EJ
Państwa budujące swoje pierwsze EJ
Państwa planujące budowę pierwszych EJ*
Państwa rozważające budowę pierwszych EJ
Państwa nie zainteresowane energetyką jądrową

* W przypadku Włoch jest to powrót do energetyki jądrowej, z której Włosi przejściowo zrezygnowali w 1987 r. i zlikwidowali pracujące wtedy elektrownie jądrowe.

2. ENERGIA JĄDROWA ŹRÓDŁEM NAJTAŃSZEJ ENERGII

2.1. Wzrost niezawodności i dyspozycyjności. Czemu nastąpił tak wyraźny zwrot?

Zasadniczy powód jest prosty – energetyka jądrowa dostarcza energię tańszą niż inne źródła energii. Osiągnięto to przez ogromny wzrost niezawodności i dyspozycyjności – współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej doszły do wartości niespotykanych wśród innych źródeł energii. O ile przed 20 laty średni współczynnik obciążenia dla amerykańskich elektrowni jądrowych był niższy od 60%, o tyle obecnie wzrósł do ponad 91% i to nie dla jednej elektrowni lub wybranych elektrowni, ale dla wszystkich 104 elektrowni jądrowych pracujących w USA. W skali całego świata ten współczynnik wynosi 85%. Dla reaktorów III generacji, jakie mają pracować w Polsce, zakłada się ten współczynnik na poziomie 90%.



Rys. 2. Wzrost średniego współczynnika obciążenia dla wszystkich 104 elektrowni jądrowych w USA.

2.2. Zalety energetyki jądrowej dla otoczenia

Równoległe na konkurencyjność energetyki jądrowej wpłynęło ograniczenie nakładów inwestycyjnych mimo osiągnięcia znacznego wzrostu bezpieczeństwa, a także korzyści dla zdrowia człowieka i środowiska jakie zapewnia energetyka jądrowa - brak emisji tlenków siarki, azotu, pyłów, metali ciężkich i oczywiście brak emisji CO₂. Wyniki programu UE Externe wykazały, że EJ należą do źródeł energii o najmniejszych kosztach zewnętrznych, a brak emisji CO₂ oznacza, że elektrownie jądrowe mogą produkować energię elektryczną nie płacąc kar za emisję.

Energetyka jądrowa bierze pełną odpowiedzialność za unieszkodliwianie odpadów i zapewnia fundusze na ich usuwanie z biosfery i na likwidację EJ

2.3. Koszty paliwa uranowego

Ile kosztuje paliwo uranowe dla EJ o mocy 1000 MWe (produkcja 8 TWh rocznie)?

Na koszt 1 kg paliwa reaktorowego z uranu wzbogaconego w postaci UO₂ składają się następujące pozycje:

Uran naturalny (cena maj 2009) w ilości 8.9 kg U₃O₈ x po 92 USD/kg = 819 USD

Konwersja U₃O₈ na UF₆ (cena niezmienną od 2007 r.) 7.5 kg U x 12 USD/kg = 90 USD

Wzbogacanie uranu w postaci UF₆, przy pracy rozdzielczej równej 7.3 SWU i cenie 135 USD/SWU (cena niezmienną od 2007 r.) = 985 USD

Produkcja paliwa (cena niezmienną od 2007 r.) = 240 USD/kg

Suma = 2134 USD/kg paliwa reaktorowego [29].

Przy wypaleniu 45,000 MWd/t otrzymujemy 360 MWh energii elektrycznej z kg, stąd koszt paliwa wynosi 5,9 USD/MWh, czyli 4,4 euro/MWh. W rzeczywistości w obecnych elektrowniach jądrowych osiąga się większe wypalenie, a nowe elektrownie III generacji projektowane są na wypalenie 60 000 MWd/t. Przyjmijmy jednak 45 000 MWd(t jako wielkość nie ulegającą dyskusji. Do kosztów paliwa doliczamy koszty unieszkodliwiania odpadów i likwidacji EJ. Wynoszą one łącznie 2 - 2,5 USD/MWh. W sumie można bezpiecznie przyjąć, że koszty paliwa wraz z unieszkodliwianiem odpadów i likwidacją elektrowni jądrowej wynoszą 7 €/MWh. Wielkość ta podawana jest jako pesymizacja przez World Nuclear Association, a także w lutym 2009 była podana przez OECD w ramach założeń do obliczeń porównawczych publikowanych co 2 lata dla elektrowni różnego typu. Rocznie trzeba więc wydać dla EJ o mocy 1000 MWe, 7.0 €/MWh x 8 TWh = **56 mln €/rok**

2.4. Ile kosztuje spalanie węgla w elektrowni węglowej 1000 MWe produkującej 8 TWh?

Średni koszt węgla w 2008 r. wyniósł 223 zł/t, a w lutym 2009 roku 72 USD/tonę co odpowiada 230 zł/t. (Wg ocen NYMEXu z maja 2009, cena węgla oczekiwana na rynku futures wynosi 76 USD/t).

Do tego należy doliczyć 30 zł/t na transport – razem 260 zł/t. Pomijając jednak koszt transportu przyjmijmy cenę węgla 55 euro/t. Dla EW na parametry nadkrytyczne o sprawności 43% spalającej 3 mln ton na 8 TWh da to koszt paliwa: **165 mln €/rok**

Ponadto opłaty za emisję przy stawce 39 euro/tonę CO₂ wyniosą przy produkcji 8 TWh około **248 mln euro/rok**. Różnica kosztów paliwowych to 359 mln euro/rok na korzyść EJ

3. PORÓWNANIE KOSZTÓW DLA ELEKTROWNI JĄDROWYCH I INNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

3.1. Ocena przybliżona w oparciu o koszty inwestycyjne i paliwowe

Razem koszt węgla i emisji CO₂ wyniesie **413 mln euro/rok**. Jest to wiele więcej niż dla elektrowni jądrowej, ale nakłady inwestycyjne na EJ są wyższe niż na elektrownie węglowe. Dla EJ Flamanville wynoszą one 2450 euro/kW czyli **3266 USD/kW**. Trzeba dodać, że EJ Flamanville 3 budowana jest bez opóźnień i zgodnie z planowanym budżetem.

Dla pierwszej EJ w Polsce nakłady inwestycyjne mogą być wyższe niż dla obecnych elektrowni francuskich, ale do porównań dla wielu bloków należy przyjąć nakłady typowo przyjmowane na świecie. Wg najnowszych ocen OECD przyjmuje się 2,75 mld euro na 1000 MWe. Dla drugiej i dalszych EJ w Polsce można uwzględnić pozytywny wpływ krzywej uczenia się przemysłu jądrowego i przyjąć nakłady inwestycyjne niższe niż obecnie, ale przyjmujemy pesymistycznie że będą one nawet wyższe niż podaje OECD i wyniosą jak w USA dla drugiego bloku EJ Florida równe **3220 €/kWe**. Nakłady te są wyższe niż dla Flamanville 3, bo koszty inwestycyjne w USA są wyższe o około 20-30 % niż koszty w Europie, nie tylko dla energetyki jądrowej, ale i dla elektrowni węglowych [30]. Dlatego nakłady 3220 €/kWe można przyjąć za maksymalne koszty budowy EJ w Polsce z dużym marginesem bezpieczeństwa.

Dla elektrowni węglowej (EW) w Polsce ceny w 2008 wynosiły od 1800 €/kWe do 2000 €/kWe. Przyjmujemy koszt 1875 €/kWe jak dla projektowanej elektrowni o mocy w dawnej kopalni Czczot [31].

Różnica nakładów inwestycyjnych wynosi więc dla drugiej i dalszych EJ w Polsce 1345 €/kWe.

Jest to równowartość różnicy kosztów paliwowych i opłat za emisję CO₂, jakie trzeba byłoby ponieść w razie spalania importowanego węgla zamiast paliwa jądrowego w ciągu 4 lat.

Powyższe stwierdzenia nie stanowią oczywiście kompletnego rachunku ekonomicznego, a mają tylko służyć jako ilustracja do przedstawienia czytelnikowi jakie elementy wpływają w decydujący sposób na ostateczne koszty energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach jądrowych i węglowych. Widać, że dzięki małym kosztom paliwa jądrowego **mimo wysokich nakładów inwestycyjnych energetyka jądrowa jest opłacalna**. Wyniki najnowszego pełnego studium ekonomicznego z wykazem założeń technicznych i ekonomicznych wykonanego przez cieszący się najwyższym uznaniem amerykański ośrodek uniwersytecki Massachusetts Institute of Technology (MIT) podajemy poniżej

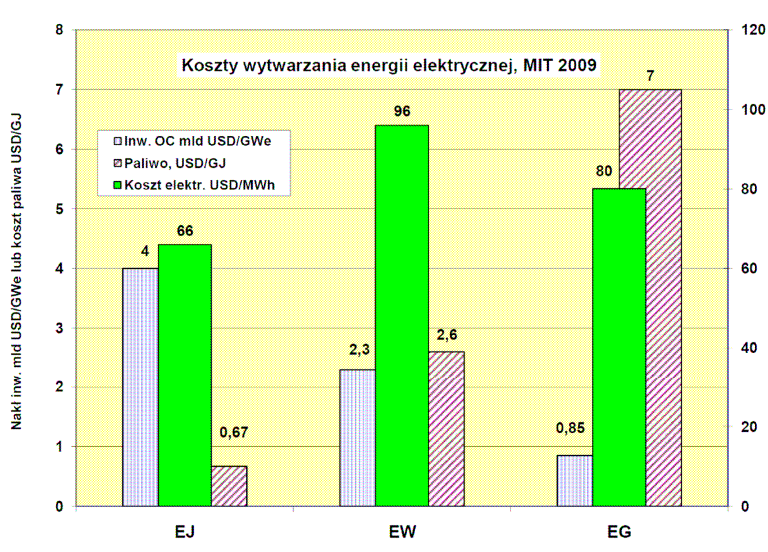
3.2. Założenia przyjęte w studium MIT 2009 i wyniki

W studium MIT przyjęto nakłady inwestycyjne bezpośrednie (overnight) dla elektrowni jądrowej równe 4 mld USD/1000 MWe, dla elektrowni węglowych 2,3 mld USD/1000 MWe a dla elektrowni gazowych 0,85 mld USD/1000 MWe [32]. Koszt uranu naturalnego przyjęto równy 80 USD/kgU, koszt wzbogacania 160 USD/SWU (SWU – jednostka pracy rozdzielczej, dla uzyskania 1 kg uranu wzbogaconego potrzeba około 7 SWU), koszt konwersji z U₃O₈ na UF₆ równy 6 USD/kgU oraz koszt produkcji paliwa z uranu wzbogaconego 250 USD/kgU. Autorzy studium MIT znaleźli optymalny próg odcięcia przy wzbogacaniu równy 0.24%, co dla początkowego wsadu uranowego 9.08 kgU odpowiada pracy rozdzielczej 6.99 SWU. Głębokość wypalenia paliwa reaktorowego przyjęto 50 MWd/kgU, co jest założeniem umiarkowanie ostrożnym, bo obecnie głębokość wypalenia podawana dla reaktorów III generacji wynosi 60 MWd/kgU. Wzrost kosztu paliwa uranowego z czasem przyjęto w wysokości 0.5% na rok, co daje średnią cenę w ciągu 40 lat równą 0.76 USD/GJ, lub 2,74 USD/MWh.

Koszt węgla przyjęto niższy niż obecnie obserwowany na rynku, mianowicie 65 USD/t, a eskalację 0,5% rocznie, stąd średnia cenę węgla przez 40 lat wynosi 2,94 USD/GJ lub 73,4 USD/t. Dla gazu przyjęto to samo tempo eskalacji otrzymując średnią cenę gazu przez 40 lat 7,9 USD/GJ.

Czas pracy dla wszystkich elektrowni – jądrowej EJ, węglowej EW i gazowej EG – przyjęto jednakowy to jest 40 lat, podobnie przyjęto jednakowy współczynnik obciążenia 0,85. Są to założenia niekorzystne dla EJ, bo już obecnie połowa elektrowni jądrowych w USA ma zezwolenie na pracę przez 60 lat, a EJ z reaktorami III generacji projektuje się z założeniami na 60 lat przy współczynniku obciążenia 90%. Sprawność cieplną przyjęto dla EJ równą 0,33 (choć reaktor EPR

ma sprawność 0,37), dla EW 0,385, a dla EG 0,50. Czas budowy przyjęto dla EJ równy 5 lat, dla EW 4 lata i dla EG 2 lata.



Rys. 3. Koszty wytwarzania energii elektrycznej wg MIT z 2009 r. (nakłady inwestycyjne podano bez oprocentowania kapitału (overnight), oprac. własne dla opłat za emisję 40 USD/t CO₂).

Udział kapitału z pożyczki bankowej przyjęto równy 60% a z kapitału akcyjnego 40%, z oprocentowaniem pożyczek 8% i oprocentowaniem kapitału akcyjnego 12%. Warto to podkreślić, bo w dyskusjach na temat opłacalności energetyki jądrowej często stawiany jest zarzut, że wyniki korzystne dla elektrowni jądrowych uzyskuje się dzięki temu, że nie uwzględnia się oprocentowania kapitału. Jest to zarzut nieprawdziwy – uwzględnia się i to przy dość wysokim oprocentowaniu bo wynoszącym dla kapitału akcyjnego 12%.

Opłaty za emisję dwutlenku węgla przyjmowano w różnej wysokości. W przypadku opłat emisyjnych 40 USD/t CO₂ otrzymano wyniki pokazane na rysunku 3. Jak widać, energetyka jądrowa jest źródłem najtańszej energii elektrycznej, a ewentualne podwyżki cen paliw zwiększą jeszcze bardziej jej przewagę nad paliwem organicznym. Według innej oceny przedstawionej przez Biuro Ocen Kongresu USA [33] całkowite uśrednione koszty wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych wyniosą 83,2 USD'2007/MWh, (a więc w przeliczeniu 59 euro'2007/MWh), a według ocen francuskich energia elektryczna z nowej elektrowni we Flamanville 3 będzie kosztować 56 euro'2008/MWh.

3.3. Oceny konkurencyjności elektrowni jądrowych przygotowane dla przemysłu brytyjskiego

Na zlecenie Konfederacji Przemysłu Brytyjskiego (*Confederation of British Industry - CBI*) znana amerykańska firma konsultingowa McKinsey, prowadząca zwykle analizy dla organizacji wdrażających OZE, przygotowała studium ekonomiczne możliwych dróg osiągnięcia celów ochrony środowiska przyjętych przez rząd brytyjski. W studium rozważano ekonomikę elektrowni jądrowej o mocy 1000 MWe z typowym reaktorem wytwarzającym 8,6 GWh czystej energii elektrycznej rocznie. Nakłady inwestycyjne (bezpośrednie) na taką elektrownię wyniosłyby wg firmy McKinsey 2.5 mld £ plus 500 mln £ na ewentualne wydatki związane z likwidacją elektrowni. Natomiast seria elektrowni wiatrowych o tych samych możliwościach wytwórczych kosztowałaby 6,5 mld £. Byłoby

to ponad dwa razy więcej, bo wiatraki mają niski współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej. Nawet przy założeniu, że są one zbudowane na morzu i korzystają z silnych wiatrów znad Atlantyku współczynnik wykorzystania mocy dla wiatraków brytyjskich wynosi około 37%. Ponadto wiatraki na morzu trzeba połączyć z siecią liniami transmisyjnymi, których koszt oceniono na 1,3 mld £, a dodatkowo wymagają one utrzymywania rezerwowych elektrowni gazowych, beczynnych gdy wieje wiatr i czekających na okresy, gdy wiatr ustaje. Generacja energii z takich elektrowni jest kosztowna, co stanowi dalsze obciążenie bilansu ekonomicznego energetyki wiatrowej.

W Polsce, gdzie średnia prędkość wiatru jest dużo mniejsza, koszt energii elektrycznej uzyskiwanej z wiatraków jest dużo wyższy niż w Wielkiej Brytanii. O ile średnia roczna prędkość wiatru na wybrzeżu atlantyckim wynosi od 8 do 10 m/s, to w Polsce w rejonie nadmorskim sięga ona zaledwie 5,5 m/s. Dlatego też dodatkowe koszty płacone przez energetykę w Polsce za dostawy energii ze źródeł odnawialnych (zielone certyfikaty) są najwyższe w Europie i znacznie przekraczają koszt samej energii. W 2008 roku koszt energii elektrycznej z elektrowni systemowych w Polsce wynosił 170 zł/MWh, a za energię wiatrową trzeba było płacić w hurcie 170 zł/MWh plus 240 zł/MWh za zielony certyfikat, **razem 410 zł/MWh**.

Studium McKinseya przekazane rządowi brytyjskiemu przez CBI postuluje zwiększenie udziału energetyki jądrowej i obniżenie udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym Wielkiej Brytanii [34]. Według autorów studium, Wielka Brytania powinna zbudować do 2030 roku przynajmniej 10 reaktorów dużej mocy i otrzymywać z nich 34% potrzebnej w kraju energii elektrycznej, zamiast 20% przewidzianych w obecnej polityce energetycznej rządu. W przeciwnym razie osiągnięcie stawianych przez rząd celów na rok 2050 będzie niemożliwe, twierdzą autorzy studium, bo finansowanie rozwoju wiatraków uniemożliwi inwestycje w potrzebnym zakresie w inne źródła energii. CBI [35] zwraca też uwagę, że budowa nowych elektrowni jądrowych konieczna jest pilnie by uniknąć budowy szeregu nowych elektrowni gazowych, które będą zużywać gaz jako paliwo mimo ujemnych skutków dla środowiska, dla budżetu i dla niezależności państwa. Koszty elektrowni wiatrowych budowanych na morzu są 2,6 razy większe niż koszty inwestycyjne dla elektrowni jądrowych o tej samej średniej mocy efektywnej.

Wkrótce po tym oświadczeniu przemysłu brytyjskiego ukazał się raport specjalny opracowany na zlecenie premiera brytyjskiego przez byłego ministra gospodarki brytyjskiej, posła Malcolma Wicksa [36]

Raport ten podkreśla, że postawiony przez rząd cel osiągnięcia udziału energii odnawialnej w wysokości 15% do roku 2020 jest bardzo ambitny i niewiarygodne jest stawianie sobie wyższych celów. Energetyka jądrowa jest wypróbowanym niskoemisyjnym źródłem energii na wielką skalę. Dla zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Wielkiej Brytanii i zmniejszenia jej zależności od importu nośników energii rozsądnym celem na lata po 2030 roku byłoby osiągnięcie udziału energetyki jądrowej w bilansie energetycznym Wielkiej Brytanii w wysokości od 35 do 40%.

Autorzy raportu omówili także sprawę importu uranu. Wielka Brytania nie produkuje uranu, ale rudę uranową można gromadzić na zapas. Złoża uranu znajdują się w wielu różnych krajach, Zarówno Agencja Energetyki Jądrowej (*Nuclear Energy Agency OECD*) jak i MAEA stwierdziły, że zasoby uranu są bardziej niż wystarczające dla pokrycia potrzeb oczekiwanej ekspansji globalnej energetyki jądrowej [37]. Nawet jeśli wzrost zapotrzebowania doprowadzi do podwyżki cen uranu, to ze względu na fakt, że koszt paliwa jest obecnie bardzo małą składową kosztów produkcji energii elektrycznej, wzrost ceny uranu nie zmieni w sposób istotny kosztu elektryczności. Wg ocen aktualnych, koszt uranu stanowi około 10% całkowitych kosztów produkcji, podczas gdy koszt gazu to 70% kosztów produkcji energii elektrycznej.

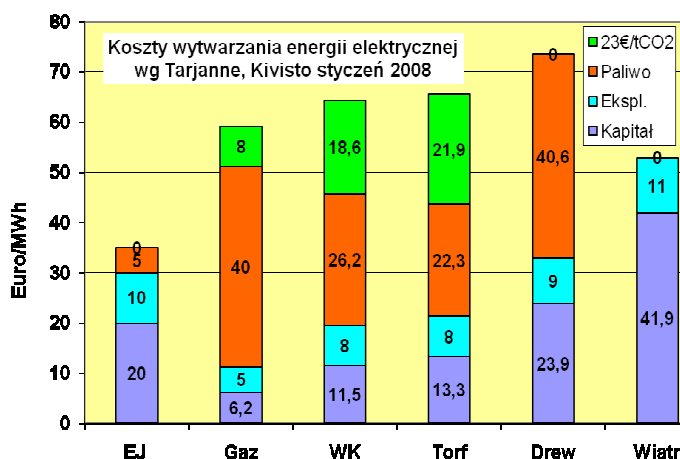
Oceny rządowe wykazały, że zwiększenie udziału OZE z 5,5% w chwili obecnej do planowanych 30% wiąże się z dodatkowymi kosztami około 65 mld £, które mogą od 11 do 17 razy przewyższyć potencjalne korzyści [38].

3.4. Oceny konkurencyjności elektrowni jądrowych względem innych źródeł energii wg ocen fińskich

Przewagę ekonomiczną elektrowni jądrowych ilustrują zarówno analizy wykonane w ramach studiów porównawczych w OECD, jak i bardzo odpowiedzialne analizy przeprowadzone w krajach takich jak Finlandia, które służyły jako podstawa do decyzji rządowych o rozwijaniu programów energetyki jądrowej i budowie nowych elektrowni. Dla ilustracji tych studiów przytoczę wyniki studium fińskiego z lutego 2008 roku [39], stanowiącego najbardziej reprezentatywną wersję studium wykonywanego już wielokrotnie od 2000 roku, kiedy to Finlandia podjęła decyzję o budowie nowej elektrowni jądrowej. Istnieje wprawdzie jeszcze nowsze opracowanie z listopada 2008 roku, ale w związku z dużym wzrostem kosztu węgla w 2008 roku daje ono wyniki zbyt korzystne dla energetyki jądrowej. Obecne ceny węgla wróciły do poziomu bliskiego cen ze stycznia 2008, dlatego wyniki porównań z tego czasu są najbardziej aktualne. Wielkość nakładów inwestycyjnych wzrosła wprawdzie znacznie od tej pory, ale wzrosła dla wszystkich typów elektrowni, tak że wyniki względne pozostają słuszne.

Studium fińskie przedstawia porównanie sześciu możliwych źródeł energii, mianowicie energii jądrowej (EJ), elektrowni węglowej kondensacyjnej (WK), elektrowni gazowej z obiegiem kombinowanym gazowo-parowym (Gaz), elektrowni opalanej torfem (Torf) lub drewnem (Drew) i elektrowni wiatrowej (Wiatr). Dla elektrowni wiatrowej nie uwzględniano subsydiów, natomiast założono, że system elektroenergetyczny odbierze energię wiatru zawsze kiedy tylko zostanie ona wytworzona i nie uwzględniano kosztów elektrowni rezerwowych. Innymi słowy pominięto wszelkie koszty wynikające z nieciągłej i zależnej od warunków pogodowych pracy wiatraków.

Przy ocenie kosztów produkcji energii elektrycznej przyjęto stopę procentową 5% rocznie i ustalony poziom cen ze stycznia 2008 roku. Czas budowy elektrowni jądrowej przyjęto równy 5 lat. Wszystkie wydatki na gospodarkę odpadami radioaktywnymi (łącznie z paliwem wypalonym) i likwidację elektrowni są ujęte w zmiennych kosztach eksploatacji i napraw poprzez coroczne wpłaty do funduszu odpadów jądrowych.



Rys. 4. Koszty wytwarzania energii elektrycznej przy pracy przez 8000 godzin /rok (współczynnik obciążenia – 91%) przy realnej stopie procentowej 5% (dane wg studium fińskiego 2008, opracowanie własne).

Koszt energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowni jądrowej wynosi 35 €/MWh, w elektrowni węglowej 64,4 €/MWh, w elektrowni gazowej 59,2 €/MWh opalanej torfem 65,5 €/MWh a drewnem - 73,6 €/MWh (drewno nie jest obciążone podatkiem od CO₂).

Elektrownie wiatrowe dostarczać mogą energię elektryczną po cenie 52,9 €/MWh przy założeniu, że pracują na pełnej mocy przez 2200 godzin w roku i nie ponoszą żadnych kosztów z powodu pracy nieciągłej. Dominującą składową kosztów w przypadku elektrowni jądrowej są nakłady inwestycyjne, natomiast koszt paliwa jądrowego jest niski. W przypadku innych źródeł energii dominującą składową stanowi koszt paliwa, za wyjątkiem elektrowni wiatrowych, dla których jednostkowe nakłady inwestycyjne są dwukrotnie wyższe niż dla elektrowni jądrowych.

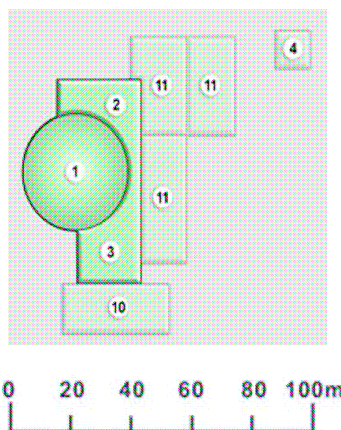
Ta ostatnia informacja może wzbudzić zdziwienie w czytelniku przywykłym do sloganu, że energia z wiatraków jest za darmo, a wiatraki są małe, smukłe i tanie. W rzeczywistości wymagają one na jednostkę mocy znacznie więcej betonu i stali niż elektrownia jądrowa.

Wieża wiatraka o wysokości 100 m, na której znajduje się kabina o wielkości autobusu i wadze ponad 70 ton oraz trzy 50-metrowe łopaty wirnika tnące powietrze z prędkością ponad 150 km/h, wymaga na początek dużych i solidnych fundamentów. Według danych dla wiatraków VESTAS [40] dominujących w Polsce i Niemczech, w przypadku wiatraka o mocy nominalnej 3 MW waga elementów stalowych wnosi 370 ton, a waga betonu stanowiącego fundamenty - ponad 800 ton. Jednakże moc średnia w ciągu roku jest dużo niższa od mocy nominalnej. W północno-zachodniej Danii, gdzie średnia roczna prędkość wiatru wynosi ponad 8,5 m/s, turbiny wiatrowe osiągają średni roczny współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej rzędu 35%. Natomiast w Polsce, gdzie najlepsze warunki wiatrowe nad morzem odpowiadają średniej rocznej prędkości wiatru około 5,5 m/s, współczynnik ten wynosi około 20%.

W ciągu 20 lat pracy turbina wiatrowa o mocy nominalnej 3 MWe generuje więc (zakładając, że pracuje bez żadnego przestoju na naprawy, zawsze gdy wieje wiatr): $3 \text{ MWe} \times 0,2 \times 20 \text{ lat} \times 365 \text{ dni/rok} \times 24 \text{ h/d} = 105 \text{ GWh}$.

Zużycie stali na jednostkę energii wynosi: $370 \text{ ton}/0,105 \text{ TWh} = \mathbf{3523 \text{ ton/TWh}}$, a zużycie betonu: $800 \text{ ton}/0,105 \text{ TWh} = \mathbf{7619 \text{ ton/TWh}}$.

W przypadku elektrowni jądrowej z reaktorem PWR o mocy 1000 MWe potrzeba 61 100 ton stali i 372 000 ton betonu. Elektrownia jądrowa w ciągu 60 lat pracy przy średnim współczynniku obciążenia 0,9 i przy pesymistycznym założeniu, że w tym okresie nie będzie pracowała wcale przez jeden rok ze względu na modyfikacje i ulepszenia wprowadzane w ciągu jej życia, wytworzy 465 TWh. Zużycie stali na jednostkę energii wyniesie więc: $\mathbf{130 \text{ ton/TWh}}$, a zużycie betonu $\mathbf{800 \text{ ton/TWh}}$.



Rys. 5. Rzut poziomy EJ z reaktorem AP 1000. [4]: 1. Obudowa bezpieczeństwa obejmująca reaktor, 2. Budynek układów pomocniczych, 3. Rejon paliwowy, 4. Generatory Diesla, 10. Budynek odpadów radioaktywnych, 11. Budynki układów pomocniczych.

A zatem do wytworzenia energii jądrowej potrzeba 27 razy mniej stali i 9,5 razy mniej betonu niż do wytworzenia energii z wiatru.

Zużycie terenu też jest mniejsze dla elektrowni jądrowej. W przypadku EJ z reaktorem AP 1000 o mocy 1100 MWe potrzebny teren ogranicza się do kwadratu 130 x 130 metrów, a więc 0,017 km². W przypadku starszej EJ z reaktorem PWR II generacji o mocy 1000 MWe potrzebny teren to kwadrat o boku 200 x 1560 m, a więc 0,03 km².

Natomiast obszar farmy wiatrowej jest dużo większy. Wiatraki są odseparowane od siebie, by zmniejszyć turbulencję powietrza powodowaną przez sąsiednie wirniki, obniżającą sprawność wiatraka. Obecnie stosuje się rozstaw od 7 do 10 razy większy od średnicy wirnika. Przyjmując jako minimum, że wiatraki ustawione są nie mniej niż co 500 m, otrzymujemy powierzchnię potrzebną na jeden wiatrak o mocy nominalnej 3 MW równą 0,25 km². Przy efektywnej mocy średniej 0,6 MWe liczba wiatraków dająca taką moc jak elektrownia jądrowa 1000 MWe o współczynniku obciążenia 0.9 wynosi 1500, a powierzchnia zajęta przez taką farmę to 375 km². Tak więc powierzchnia potrzebna dla wiatraków jest 22000 razy większa niż dla EJ III generacji z reaktorem AP 1000, a 12500 razy większa niż dla EJ II generacji.

Ilości CO₂, emitowanego przy budowie wiatraków też są większe niż przy budowie i likwidacji EJ.

3.5. Porównanie kosztu czystej i stabilnej energii elektrycznej z elektrowni jądrowych z kosztami energii ze elektrowni wiatrowych w Polsce

3.5.1. Same koszty finansowe

W Polsce dodatkowym minusem jest stosunkowo mała siła wiatru – dużo mniejsza niż w rejonach takich jak zachodnie brzegi Irlandii, Szkocji i Danii wystawione na wiatry znad Atlantyku. Podczas, gdy w tamtych rejonach prędkość wiatru w skali rocznej przekracza 8.5 m/s, w Polsce w korzystnych rejonach takich jak Łeba wynosi średnio 5,5 m/s. Określanie warunków wiatrowych w Polsce jako „bardzo dobre” jest wprowadzaniem społeczeństwa w błąd. W stosunku do północno-zachodniej Danii, czy Szkocji warunki wiatrowe w Polsce są znacznie gorsze.

Zdając sobie sprawę z niskiej średniej mocy wiatraków i dużej ilości materiałów potrzebnej na ich budowę można zrozumieć, czemu nakłady inwestycyjne na wiatraki są dużo wyższe niż na inne źródła energii.

Nakłady inwestycyjne na jednostkę mocy szczytowej to dla wiatru około 1,5- 1,6 mln euro/MW (Sępole 100 mln euro za 60 MW [42] , Tychowo 50 MW za 74 mln euro [43], gmina Orla (Podlaskie) 60 mln euro za 15 wiatraków o mocy 2,5 MW każdy czyli łącznie za moc zainstalowaną 37,5 MW (megawatów) [44] czyli 1,6 mln euro/MW), a na jednostkę mocy średniej - pięć razy więcej, to jest 8 mln euro/MW. Ponadto, wiatraki pracują przez 20 lat, a nie jak elektrownie jądrowe – 60 lat. Ich nakłady inwestycyjne są więc na przestrzeni 60 lat dużo większe. Orientacyjnie przyjmujemy, że w ciągu 60 lat na budowę kolejnych trzech pokoleń wiatraków trzeba wydać $7,5 \times 3 = 22,5$ mln euro/MWe.

Ale wiatr jest za darmo – a za paliwo do EJ trzeba płacić. Musimy to uwzględnić. W ciągu 60 lat paliwo do EJ o mocy 1000 MWe będzie kosztowało 40 mln euro/rok x 60 lat = 2400 mln euro. Nawet jeśli dodamy tę wielkość do nakładów inwestycyjnych, chociaż koszty paliwa rozkładają się na 60 lat, a nakłady na pierwszy okres budowy elektrowni, to i tak otrzymamy sumę znacznie mniejszą od nakładów inwestycyjnych na wiatraki.

Przyjmując, że oprocentowanie kapitału zwiększy bezpośrednie nakłady inwestycyjne na elektrownię jądrową do chwili jej uruchomienia o 50%, i przyjmując jak podaliśmy powyżej bezpośrednie nakłady inwestycyjne dla drugiej i dalszych EJ w Polsce równe 3,22 mln €/MWe otrzymamy dla

jednego bloku EJ koszty jednostkowe 4,83 mln €/MWe+ 2,4 mln €/MWe =**7,23 mln €/MWe** a dla elektrowni wiatrowej – jak wykazaliśmy powyżej: **22,5 mln €/MWe**

Tak więc łączne nakłady inwestycyjne i koszty paliwa przez 60 lat **są dla elektrowni jądrowej 3 razy niższe**, niż koszty inwestycyjne dla elektrowni wiatrowej. A problemy z mocą rezerwową i nieobliczalnymi zmianami siły wiatru pozostają poza tym rachunkiem ekonomicznym...

3.5.2. Wpływ wiatraków na sieć energetyczną

„Łączna moc farm wiatrowych w Polsce przyłączonych do sieci o napięciu 110 kV wynosi ok. 270 MW - nie jest to dużo, więc poważnych zagrożeń dla Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) nie ma” - ocenia Stefania Kasprzyk, prezes PSE Operator [45]. Powtórzmy: „Nie jest to dużo, więc poważnych zagrożeń nie ma”. Ale gdy moc wiatraków wzrośnie, utrzymanie niezawodnych dostaw energii elektrycznej będzie dużo trudniejsze. Wg firmy EOn, mającej największą na świecie sieć wiatraków, dla zapewnienia naprawdę niezawodnych dostaw energii elektrycznej trzeba mieć do dyspozycji 90-95% mocy wiatraków w postaci mocy rezerwowej. Jeszcze dalej idzie w swych twierdzeniach VGB. VGB to ogromna, powstała w Niemczech organizacja skupiająca obecnie użytkowników kotłów w 32 krajach (dysponujących mocą zainstalowaną na poziomie ponad 500 tys. MW) [46]. Wykonała badania jak zapewnić dostawy energii w przypadku korzystania na szerszą skalę z elektrowni wiatrowych. Wadą tych ostatnich jest bowiem to, że produkcja przez nie energii to proces stochastyczny, czyli tzw. funkcja losowa.

Co wyszło z badań VGB?

Pierwszy wniosek, to aby być absolutnie pewnym ciągłych dostaw energii trzeba rezerwować w tzw. gorących rezerwach mocy aż 95 proc. mocy zainstalowanej w wiatrakach. Tylko w ten sposób uniknie się kłopotów sieciowych i przerw w dostawach energii.

Drugi wniosek oznacza, że za budową wiatraków powinny pójść inwestycje w szybko reagujące elektrownie opalane klasycznymi paliwami (najlepiej gazem) [46] albo utrzymywanie gorącej rezerwy- czyli kotłów opalanych węglem, pracujących na biegu jałowym lub na bardzo małej mocy, by móc w każdej chwili podnieść moc i zastąpić elektrownie wiatrowe, gdy nie wieje wiatr. Ale praca na biegu jałowym lub na małej mocy jest nieekonomiczna, a jednocześnie oznacza znaczne emisje zanieczyszczeń do atmosfery, bo spaliny są najczystsze przy pracy na pełnej mocy. A więc jednak – gaz. Ale w Polsce import gazu to uzależnienie od sąsiedniego państwa eksportującego gaz do Unii Europejskiej. Czy takiego uzależnienia pragniemy?

Z firmą EOn i ze stowarzyszeniem VGB zgadza się dyrektor ds. rozwoju PSE Operator, Piotr Kukurba. - Elektrownie wiatrowe, to w zasadzie jedyna rozsądna alternatywa w budowie źródeł zielonej energii w Polsce, niestety jednak wymagają od 80 do nawet 90 proc. mocy rezerwowej w elektrowniach interwencyjnych, które mogą zostać bardzo szybko włączone i zrekompensować niedobór mocy w razie zatrzymania pracy elektrowni wiatrowych. Jeżeli mocy rezerwowych nie będzie, to w przypadku dużej ilości mocy w elektrowniach wiatrowych ich oddziaływanie na system elektroenergetyczny może być bardzo niebezpieczne – mówi Piotr Kukurba [47].

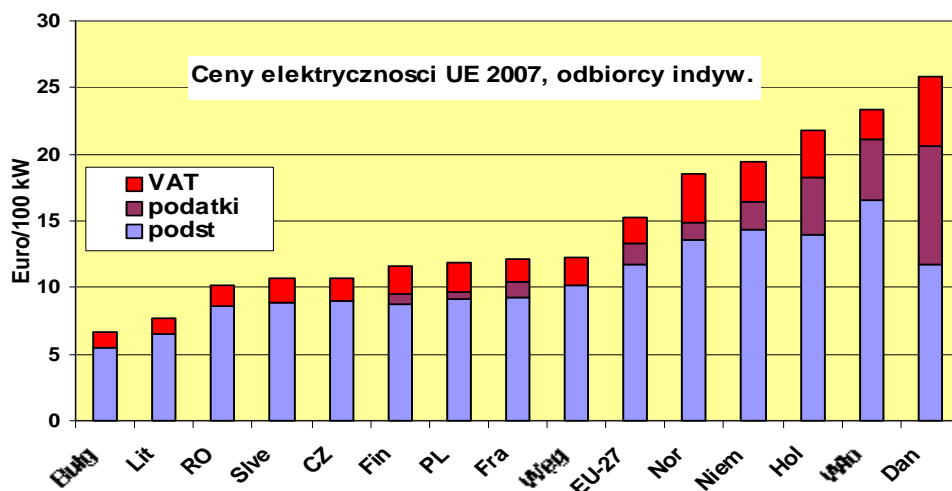
3.5.3. Ceny energii elektrycznej w różnych krajach

Koszty energii odnawialnej są wysokie. W Polsce w 2008 roku koszt energii dostarczanej do sieci z elektrowni węglowej wynosił około 170 zł/MWh, a koszt energii z elektrowni wiatrowych 170 plus 240 (za zielony certyfikat) - razem około 410 zł/MWh.

Analiza kosztów farmy wiatrowej o mocy 40 MW wykazała, że koszt turbiny w przeliczeniu na 1MW to 4.900.000,00 PLN (kurs euro 3,98 PLN), koszty realizacji infrastruktury to

930.000,00 PLN/1MW, prace projektowe 200.000,00 PLN/MW, a całkowite nakłady inwestycyjne na 1MW farmy wiatrowej o mocy 40 MW zamykają się w kwocie 6.030.000,00 PLN [48]

Wbrew twierdzeniom Greenpeaceu, że energia wiatrowa jest tania, wystarczy spojrzeć na jej cenę, by widzieć, że w Polsce to nieprawda.



Rys. 6. Ceny energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych w UE. (wg Eurostatu, opr. wł.).

Podobnie w Europie – wg danych Eurostatu najwyższe ceny płacili Duńczycy i Włosi – kraje bez energetyki jądrowej. Podobno wiatr jest za darmo – ale **Duńczycy płacą za elektryczność najwięcej w UE ...**i to mimo, że prędkość wiatru wynosi tam od 7 do 11 m/s, a nie jak w Polsce około 5,5 m/s.

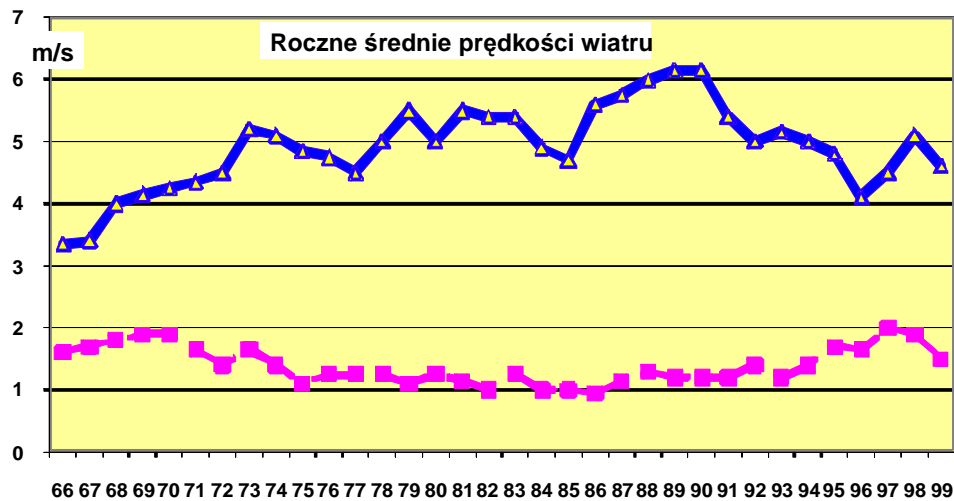
Dodatkowy koszt wynika stąd, że elektrownie wiatrowe pracują w sposób przerywany. Aby skompensować wahania siły wiatru, trzeba zbudować dodatkowo elektrownie wodne pozwalające na szybkie reagowanie – a ich moc powinna wynosić powyżej 90% mocy wiatraków. Jeśli zaś – jak w Polsce – nie ma warunków do budowy hydroelektrowni, to trzeba budować elektrownie gazowe (bo węglowe nie reagują dostatecznie szybko) i importować dla nich gaz... Skąd i za ile?

3.5.4. Ocena kosztów wdrażania wiatraków w Polsce

Porównując Danię i Polskę należy przede wszystkim zwrócić uwagę na różnice w prędkościach wiatrów, a następnie na potencjalne możliwości wykorzystania sieci elektrowni wodnych do amortyzowania wahań produkcji energii wiatrowej.

W Danii zachodniej średnie prędkości wiatru w skali rocznej przekraczają znacznie 7,5 m/s [49]. Dzięki temu stosunek mocy średniej do mocy szczytowej wynosi tam około 0.24 w skali rocznej. W Polsce średnia energia wiatru jest niższa niż w Danii, która ma zupełnie wyjątkowe położenie geograficzne na półwyspie otoczonym morzem. Dla Polski bardziej reprezentatywny jest współczynnik rocznego wykorzystania mocy rzędu 19%, tak jak w Niemczech. Oznacza to, że przy tej samej mocy maksymalnej moc średnia wiatraka będzie w Polsce mniejsza, a straty finansowe na utrzymanie stabilności sieci – większe.

W Polsce najlepsze warunki do instalacji elektrowni wiatrowych są na wybrzeżu. Jak jednak widać z rys. 7, nawet w rejonie Łeby średnia roczna prędkość wiatru jest znacznie niższa niż w Danii i waha się wokoło 5 m/s.



Rys. 7. Roczne średnie prędkości wiatru w Łebie (linia górna –niebieska) i w Nowym Sączu (linia dolna, czerwona). (Dane z ośrodka meteorologii IMGW [50]).

Wobec tego, że współczynnik wykorzystania mocy nominalnej (szczytowej) maleje z kwadratem prędkości średniej wiatru, można oczekiwać, że ilość energii elektrycznej uzyskiwanej w Łebie z takiej samej turbiny wiatrowej jak zainstalowana w Danii zachodniej będzie przynajmniej dwukrotnie mniejsza. Oznacza to, że opłacalność inwestycji w wiatraki w Polsce będzie dwa razy niższa niż w Danii.

Przy układaniu planów strategicznych dla Polski trzeba też zwrócić uwagę na fakt, że Dania może opierać się na sieci elektrowni wodnych w Skandynawii wytwarzających ponad 170 TWh rocznie. Pozwala to skompensować wahania siły wiatru w systemie elektrowni wiatrowych o mocy 3 GW, przy czym jak widzieliśmy na przykładzie Danii, powoduje to straty rzędu miliarda koron rocznie. W Polsce łączna energia wytwarzana w hydroelektrowniach pracujących na przepływie naturalnym wynosi około 1,8 TWh, a więc kilkadziesiąt razy mniej niż w Skandynawii. Przy tym mamy zaledwie kilka elektrowni wodnych, które mogą być wykorzystane do regulacji obciążenia. Są to elektrownie szczytowo-pompowe (Żarnowiec, Porąbka-Żar, Żydowo) i elektrownie z członem pompowym (Solina, Dychów i Niedzica), o łącznej mocy osiągalnej 1754 MW.

Nie mamy też tak dużych przepustowości naszych połączeń z sieciami energetycznymi za granicą, ani nie ma dużych kompleksów hydroelektrowni w sąsiednich krajach. Droga ewentualnego eksportu do Skandynawii byłaby bardzo długa.

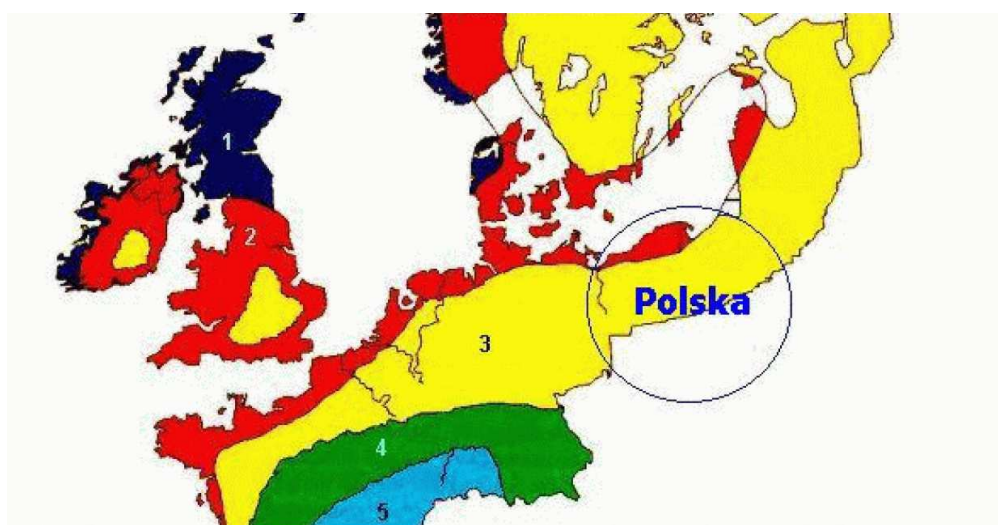
Tak więc Polska nie ma takich możliwości kompensacji skoków produkcji energii wiatrowej jak Dania. Jakie będą straty przy utrzymywaniu rezerwy wirującej w elektrowniach opalanych paliwem organicznym? I jakie to da efekty w bilansie emisji CO₂?

Pamiętajmy przy tym, że nawet bez uwzględniania problemu utrzymywania stabilności systemu, koszty wytwarzania energii elektrycznej z wiatraków nawet przy doskonałych warunkach wiatrowych w Danii są około dwukrotnie większe niż koszty dla elektrowni jądrowych [51]. W Polsce będą te koszty większe, bo prędkości wiatru mamy mniejsze, a koszty wyrównywania wahań napięć w sieci będą też dużo wyższe niż w Danii. W Polsce jednostkowe koszty zakupu energii elektrycznej z OZE na rynkach hurtowych obecnie 2,5-krotnie przekraczają średnie ceny energii elektrycznej. Ponadto:

- energetyka wiatrowa praktycznie nie generuje nowych miejsc pracy (urządzenia są w znakomitej większości produkowane za granicą, a elektrownie wiatrowe są niemal bezobsługowe),

- inwestorami są z reguły duże firmy zachodnie – jest to więc po prostu eksport dochodu narodowego, gdyż pieniądze pochodzące od polskich (niezamożnych na ogół) odbiorców energii są transferowane do bogatych zagranicznych korporacji.

Piękne obietnice, że wiatr da bezpłatną energię elektryczną, trzeba traktować podobnie jak inne hasła reklamowe i zdawać sobie sprawę, że kryją się za nimi korzyści polityczne i finansowe – ale nie dla odbiorców energii elektrycznej, a raczej dla przemysłu produkcji turbin wiatrowych i deweloperów. Jednym z chwytów propagandowych powszechnie stosowanych przez ludzi prowadzących agitację na rzecz wiatraków jest podawanie mocy szczytowej jako wielkości, którą należy porównywać z innymi źródłami energii. I tak np. Rzeczypospolita podała w lipcu 2009 r. że Polska Grupa Energetyczna, do 2020 r. kosztem ok. 13,4 mld zł, planuje budowę morskich farm wiatrowych o mocy 1000 megawatów. „To tyle, ile chce uzyskać Polska z elektrowni jądrowej w Ignalinie na Litwie” pisze entuzjasta wiatraków w Rzeczypospolitej [52]. Uczciwsi – albo po prostu fachowi komentatorzy dodają jednak, że średnia moc wiatraka to tylko 25% mocy nominalnej – dlatego 1000 MW mocy nominalnej wiatraków to tylko 250 MW mocy średniej. I to w bardzo dobrych warunkach – w Niemczech przez wiele lat średnia mocy wynosiła około 20-22% mocy nominalnej. W Polsce zaś prędkość wiatru jest podobna jak w Niemczech, a dużo mniejsza niż na zachodnich wybrzeżach Danii lub Wielkiej Brytanii, jak widać z rys. 8.



Rys. 8. Wiatry w Danii, Szkocji i Irlandii (rejon 1) oraz w Polsce (rejon 3) i odpowiednie gęstości mocy uzyskiwane z wiatraków. Jak widać moce wiatraków w Polsce centralnej są około 2 razy MNIEJSZE niż w rejonie 1 [53].

Kat.	Rejony	Teren płaski otwarty		Teren nadmorski	
		m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
1	Szkocja, Dania pn-zach, Irlandia zach.	> 7,5	> 500	> 8,5	>700
2	Polska rejon nadmorski	6,5-7,5	300-500	7,0-8,5	400-700
3	Polska na pd. od pasa nadmorskiego	5,5-6,5	200-300	6,0-7,0	250-400

3.5.5. Subsydia dla elektrowni wiatrowych

Subsydia dla energetyki wiatrowej to:

- dopłata 240 zł/MWh w ramach zielonego certyfikatu, co przy cenie energii z elektrowni systemowych około 170 zł/MWh daje łączną cenę 410 zł/MWh,

- szczególnie korzystne warunki sprzedaży wytworzonej energii, zgodnie z którymi system energetyczny musi odebrać każdą ilość energii wytwarzanej przez wiatrak,
- brak odpowiedzialności wobec odbiorców za niedostarczanie energii gdy nie wieje wiatr – o rezerwy musi troszczyć się system energetyczny. System musi pokrywać też wszelkie koszty budowy elektrowni rezerwowych i ich pracy na biegu jałowym,
- zasiłki finansowe na budowę wiatraków, które w 2009 r. polegają na niskooprocentowanym kredycie (6 proc.), udzielanym przez NFOŚiGW na 15 lat, który może być częściowo umorzony (do 50 proc.) [54].

Korzyści dla deweloperów są tak wielkie, że do kwietnia 2009 r. złożyli oni wnioski o przyłączenie do sieci wiatraków o łącznej mocy 50000 MWe [55], a we wrześniu liczba ta wzrosła to 76000 MW. Mimo wysokich kosztów inwestycyjnych system dopłat wprowadzony w Polsce jest tak korzystny dla deweloperów wiatraków, że nawet bez dotacji na inwestycję okres zwrotu analizowanej inwestycji to 8 lat od momentu zakończenia inwestycji [48].

W przypadku energetyki jądrowej żadnych subsydiów nie będzie, bo zgodnie z przepisami Unii Europejskiej nie są one dozwolone, a ponadto – nie są potrzebne, bo elektrownie jądrowe są opłacalne i dają najtańszą energię elektryczną już bez subsydiów.

3.5.6. Czasy budowy elektrowni wiatrowych

W dyskusjach o energetyce jądrowej pada często zarzut, że budowa elektrowni jądrowej trwa bardzo długo. W rzeczywistości, o ile budowa EJ nie zatrzymają procesami sądowymi, elektrownię jądrową buduje się w ciągu około 5 lat.

Budowa elektrowni wiatrowych na morzu trwa długo- porównywalnie z budową elektrowni jądrowej. Brakuje też przepisów prawnych – podobnie jak w przypadku energetyki jądrowej. Według oświadczenia p. Jarosława Mrocza, prezesa Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej (PSEW) „gdyby pojawił się ktoś, kto od jutra się tym zajmie, to potrzeba będzie minimum 2 - 3 lat na stworzenie podstaw prawnych do zajęcia się energetyką wiatrową offshore.” A czas realizacji budowy nie jest wcale krótki. „Energetyka offshore jest nieporównywalna z energetyką wiatrową na lądzie, tam projekty nie trwają 3-4 lata, tylko raczej 6-7 lat. Pierwsze farmy wiatrowe na morzu najwcześniej mogą powstać za ok. 10 lat i to pod warunkiem, że od jutra ktoś tą tematyką będzie się zajmował” - twierdzi Jarosław Mroczek [57].

3.5.7. Wnioski

Powyższe porównania wskazują, że dla społeczeństwa dużo taniej jest otrzymywać energię elektryczną z elektrowni jądrowych niż z wiatrowych. Energia jądrowa jest równie czysta jak wiatrowa, jak wykazały badania w ramach studium ExternE, jest równie korzystna dla zdrowia człowieka i środowiska [58], nie powoduje zaburzeń w działaniu systemu energetycznego, jest wytwarzana stabilnie i niezawodnie. Rozwijanie energii wiatrowej jest konieczne, ale trzeba zdawać sobie sprawę, że za wysokie koszty tej energii płacimy my wszyscy jako podatnicy i jako odbiorcy prądu elektrycznego. Do planowania rozwoju wiatraków w Polsce trzeba podchodzić z rozwagą, wykluczając czynniki ideologiczne, oraz wyciągając naukę z bardzo kosztownych błędów i doświadczeń innych krajów między innymi z doświadczeń i analiz brytyjskich opisanych powyżej.

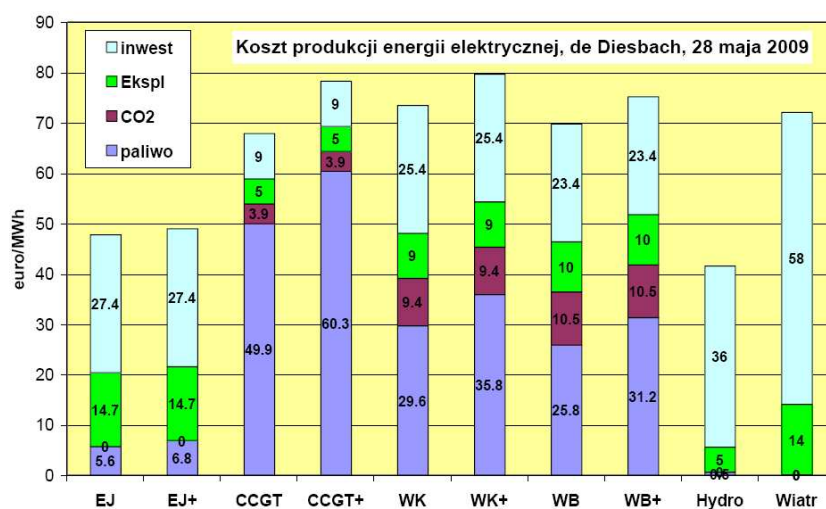
Według studium wykonanego dla SEP przez ENERGYSYS, **każdy rok bez energetyki jądrowej będzie powodować coraz większy wzrost cen elektryczności i straty gospodarcze Polski.** Straty pośrednie wskutek redukcji inwestycji zagranicznych, spadku eksportu i wzrostu bezrobocia będą około 10-krotnie większe od strat bezpośrednich [59].

4. PERSPEKTYWY ENERGETYKI JĄDROWEJ W WARUNKACH OBECNEGO KRYZYSU FINANSOWEGO

Z okazji spotkania ministrów energetyki grupy G-8 w maju 2009, Międzynarodowa Agencja Energii IEA opublikowała raport, w którym przewiduje możliwość opóźnień lub rezygnacji z budowy nowych elektrowni jądrowych na świecie. „Wysokie wymagania kapitałowe w połączeniu z ryzykiem wzrostu kosztów i niepewnością w zakresie wymagań bezpieczeństwa skłaniają inwestorów do wielkiej ostrożności, nawet gdy widać wyraźną potrzebę energetyki jądrowej” stwierdza ten raport [60]. Natomiast grupa ministrów G-8 ogłosiła komunikat o konieczności rozwijania nisko-emisyjnych technologii energetycznych obejmujących energetykę jądrową [61], a na konferencji prasowej zorganizowanej po spotkaniu grupy G-8 przez FORATOM p. Lambert de Diesbach, czołowy ekspert finansowy i kierownik ds badań firmy CM-CIC Securities przedstawił referat [62], w którym stwierdził, że obecny kryzys może spowolnić wzrost energetyki jądrowej, ale nie może go powstrzymać.

Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w ciągu najbliższych 20 lat ma powstać od 400 do 700 reaktorów energetycznych dużej mocy. Co więcej, wiele krajów planuje przedłużenie okresu eksploatacji swych reaktorów. Zdaniem p. Diesbacha, za rozwojem energetyki jądrowej przemawiają trzy zasadnicze argumenty:

Po pierwsze energetyka jądrowa jest konkurencyjna ekonomicznie. Po uwzględnieniu wszystkich kosztów wytwarzania energii (nakłady inwestycyjne i koszty budowy, koszty eksploatacji i utrzymania ruchu, koszty paliwa, likwidacji elektrowni i unieszkodliwiania odpadów) dla różnych opcji energetycznych z uwzględnieniem opłat za emisję CO₂ „energia jądrowa okazuje się najtańszym źródłem energii. Odnawialne źródła energii mogą przeżyć tylko przy specjalnych subsydiach i nakazach rządowych, bo same nie są w stanie konkurować ekonomicznie z energią jądrową”.



Rys. 9. Koszty wytwarzania energii elektrycznej w zależności od źródła energii, (dane z referatu L. de Diesbacha [62], opracowanie własne). Warianty oznaczone plusem + oznaczają warianty ze wzrostem kosztu paliwa o 20%, CCGT – turbina gazowa w układzie skojarzonym.

Jak widać z rys. 9 energetyka jądrowa jest tańsza od technologii opartych na spalaniu paliw organicznych lub wykorzystaniu energii wiatru, a ewentualny wzrost cen paliwa o 20% powiększy jeszcze bardziej jej przewagę nad technologiami opartymi na spalaniu węgla i gazu. Najtańsza jest energia wodna, ale możliwości budowy hydroelektrowni są ograniczone i zostały już w większości krajów wykorzystane. Energia elektryczna jest potrzebna, i to energia niezawodnie dostarczana do sieci, czego nie gwarantują źródła odnawialne o przerywanym charakterze pracy. W szczególności instalowanie wiatraków oznacza konieczność zapewnienia źródeł rezerwowych, najlepiej w postaci hydroelektrowni, a w ich braku opartych na spalaniu gazu.

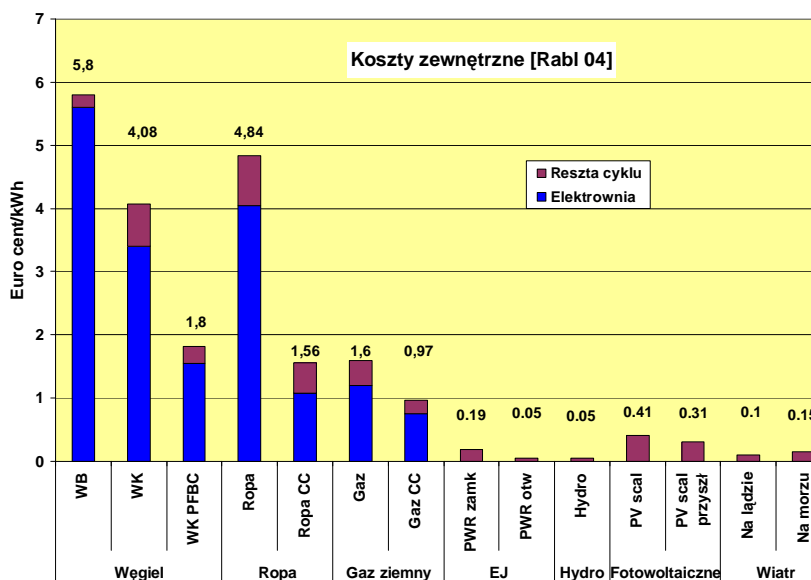
Tymczasem Unia Europejska staje się coraz bardziej uzależniona od importu gazu z Rosji i Algierii, a stosunki tych krajów z UE są coraz bardziej napięte, co grozi bezpieczeństwu energetycznemu Unii. UE oznajmiła ostatnio, że nie będzie finansować projektu Nabucco, który miał zapewnić alternatywną drogę rurociągu przez Iran zamiast Rosji, co oznacza odłożenie realizacji projektu. Z drugiej strony Algeria zmienia swój system zawierania kontraktów na dostawy gazu, przechodząc od kontraktów wieloletnich po cenach stałych do kontraktów elastycznych po cenach zmiennych. Celem jej jest umożliwienie producentom gazu dyktowania cen. W tej sytuacji Europa stoi wobec perspektywy dwóch dostawców monopolistycznych, którzy mogą przekręcić kurek lub podnieść ceny w dowolnym wybranym przez nich momencie. Jeżeli Europa chce zachować niezależność energetyczną, musi mieć alternatywne źródła stabilnej i niezawodnej energii. Kryzys gazowy jest główną przyczyną dla czego budowa energetyki jądrowej nie będzie opóźniona przez obecny kryzys finansowy.

Energia jądrowa jest inwestycją długoterminową, bezpieczną i korzystną finansowo. Proces inwestycyjny trwa około 10 lat, ale za to elektrownia jądrowa pracuje potem przez 60 lat. Co więcej, przedłużenia okresu eksploatacji są znacznie korzystniejsze finansowo niż wyłączenia, dlatego zdaniem de Diesbacha *“wyłączeń będzie dużo mniej niż przewidywano, a nowe bloki skompensują to z nadmiarem”*. Energetyka jądrowa może nie być *“dobrym rozwiązaniem, ale jest najlepszym, jakie jest dostępne obecnie”* [62].

5. KOSZTY ZEWNĘTRZNE

Dodatkowym argumentem za energetyką jądrową są niskie koszty zewnętrzne, to jest straty na zdrowiu i szkody środowiskowe, których kosztu nie pokrywa producent, ale całe społeczeństwo. Jak wykazało wielkie studium Unii Europejskiej zwane EXTERNE [58], najniższymi kosztami zewnętrznymi charakteryzuje się energia jądrowa obok hydroenergii i energii wiatru. Te dwa ostatnie źródła są jednak droższe od energii jądrowej, dzięki czemu w łącznym rachunku kosztów płaconych przez odbiorcę i kosztów społecznych energia jądrowa okazuje się zwycięzcą.

Wyniki uzyskane w programie ExternE wywołały niezadowolenie organizacji Greenpeace, która w swej publikacji [63] pokazała tylko koszty zewnętrzne dla paliw organicznych tak jakby wiatr czy ogniwa fotowoltaiczne nie powodowały szkód środowiska i strat zdrowia, co jest oczywiście manipulacją nie mającą nic wspólnego z prawdą. Co więcej, Greenpeace twierdził, że w ExternE *„nie uwzględniono żadnych ciężarów finansowych jakie w razie awarii może powodować energia jądrowa”* co jest jaskrawo sprzeczne z faktami, bo w ExternE uwzględniono nawet najcięższe awarie możliwe w reaktorach cywilnych i przyjęto pesymistyczne założenia co do ich skutków i częstości [58].



Rys. 10. Koszty zewnętrzne dla typowej lokalizacji w UE-15 dla różnych źródeł energii elektrycznej, wyniki EXTERNE. PFBC- spalanie w złożu usypanym pod ciśnieniem, CC- cykl kombinowany, PWR otw. – cykl paliwowy otwarty, PWR zamk. - cykl paliwowy zamknięty.

Studium ExternE jest największym i najbardziej obiektywnym zestawem analiz prowadzonych przez wszystkie państwa Unii Europejskiej i uznanym przez Komisję Europejską za najbardziej miarodajną ocenę wpływu energetyki z różnych źródeł na środowisko i zdrowie człowieka. Fakt, że energia jądrowa zajęła jedno z najlepszych miejsc pod względem kosztów zewnętrznych, przy jednoczesnej konkurencyjności ekonomicznej i niezawodności dostaw energii, był przyczyną decyzji Parlamentu Europejskiego, który w październiku 2007 roku uznał energię jądrową za niezbędną dla energetyki europejskiej podkreślając jednocześnie jej znaczenie dla zachowania czystego powietrza i wody i pewności dostaw energii przez setki i tysiące lat [64].

Literatura

- [1] HM Government, BERR: Meeting the Energy Challenge, a White Paper on Nuclear Power, January 2008
- [2] „to do what’s right for our country.” Times Online, January 10, 2008
- [3] http://www.world-nuclear-news.org/NP_Nuclear_phase_out_a_50_billion_mistake_2010081.html
- [4] Italian Senate approves modified nuclear bill, WNA, 15 May 2009
- [5] ENEL completes Spanish expansion, WNA 26 June 2009
- [6] Holy See Backs Civil Use of Nuclear Energy <http://www.zenit.org/article-15861?l=english>
- [7] <http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=13794&LangType=2057&terms=holy+see>
- [8] Sweden reverses its nuclear phase out, WNA, 05 February 2009
- [9] Sweden to end ban on new nuclear power, Financial Times, February 5 2009
- [10] Delta sets ball rolling for new Dutch plant, WNA, 26 June 2009
- [11] Belgia opóźni wyłączenie elektrowni atomowych? PAP - 02-10-2009
- [12] A balance of nuclear power for Germany wnp 22 June 2009
- [13] Merkel: Nuclear phase-out is wrong, WNN, 10 June 2008

- [14] Nuclear is the Only Alternative to Coal and Gas says Czech Premier, WNA, 03 June 2009
- [15] Hungary to Invite Russia to Build Nuclear Reactors WNA, 27 May 2009
- [16] Bułgaria zamierza kontynuować projekty energetyczne z Rosją PAP - 19-09-2009
- [17] <http://www.wnp.pl/wiadomosci/73686.html>
- [18] Fortum submits application for Loviisa 3, WNA, 05 February 2009
- [19] New Swiss plants under starter's orders, WNA, 04 December 2008
- [20] Albania and Croatia plan joint plant, WNA, 17 April 2009
- [21] http://minpriroda.by/nfiles/000461_303121_Kratkaja_informatsija_ob_OVOS_angl_str16_818.pdf
- [22] PAP - 15-04-2009 16:30
- [23] Orders for Chinese program WNA, 02 July 2009
- [24] Nuclear in South Korea's climate plans WNA, 08 January 2009
- [25] Nuclear Power in Japan, WNA, March 2009
- [26] Larsen, ASE to cooperate on VVER units, 15 April 2009
- [27] Record support for American nuclear, WNA, 23 March 2009
- [28] http://www.atom.edu.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=104&Itemid=148
- [29] WNA, The Economics of Nuclear Power, January 2009
- [30] WEO 2008 Power Generating Cost Assumptions, np. dla elektrowni węglowych na parametry nadkrytyczne średnie koszty inwestycyjne w Europie w 2008 roku wynosiły 2000 USD/kW a w USA 2700 USD/kW.
- [31] CiePiela D., RWE i KW parafowały umowę zawiązania spółki, która wybuduje elektrownię za 1,5 mld euro, wnp.pl) - 15-04-2009
- [32] Deutch J.M. et al.: Update of the MIT 2003 Future of Nuclear Power Study, June 2009
- [33] Kaplan S., Power Plants: Characteristics and Costs, November 13, 2008, Congressional Research Reports <http://opencrs.com/document/RL34746> dostęp 25.07.2009
- [34] U.K. Needs More Nuclear Power, Less Gas and Wind, McKinsey Says http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20601130&sid=aw9bcoVn0_gU
- [35] CBI: Nuclear should lead the mix, 13 July 2009 http://www.world-nuclear-news.org/EE_CBI_nuclear_should_lead_the_mix_1307091.html
- [36] [Energy Security: A national challenge in a changing world](#)
- [37] OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. June 2008: <http://www.oecdbookshop.org/oecd/display.asp?sf1=identifiers&st1=9789264047662>
- [38] Conway E., BRITAIN'S GREEN ENERGY PLAN MAY COST 17 TIMES MORE THAN ITS BENEFITS The Daily Telegraph, 10 August 2009 <<http://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/energy/6001259/Governments-green-energy-plan-may-cost-17-times-more-than-its-benefits.html>
- [39] Tarjanne R., Kivistö A., Comparison of Electricity Generation Costs, Research Report, Lappeenranta University of Technology, 2008
- [40] V-90 – 3 MW Vestas, http://www.vestas.com/Files/Filer/EN/Brochures/Vestas_V_90LOW.PDF
- [41] Doehnert B. AP 1000 by Westinghouse, in: proc. of International Conference Nuclear Power Plants for Poland, 2006, Warszawa 1-2 czerwca 2006
- [42] Austriackie wiatraki wyrosną na Mazurach Rzeczpospolita - 21-10-2008 06:27 http://energetyka.wnp.pl/austriackie-wiatraki-wyrosna-na-mazurach.63123_1_0_0.html
- [43] Ciepiela D., Farma wiatrowa o mocy 50 MW powstanie w Tychowie wnp.pl- 12-05-2009
- [44] Duńczycy chcą zainwestować 60 mln euro w farmę wiatrową w Podlaskiem, PAP - 26-09-2009
- [45] Ciepiela D., Elektrownie wiatrowe w Polsce: wiatr w gwizdek, 2008-03-30
- [46] Malinowski D., Wiatraki zmuszają do utrzymywania "gorącej rezerwy mocy"? http://energetyka.wnp.pl/wiatraki-zmuszaja-do-utrzymywania-goracej-rezerwy-mocy.64057_1_0_0.html wnp.pl - 30-10-2008

- [47] <http://www.wnp.pl/wiadomosci/67125.html>, Elektrownie wiatrowe: kłopotliwy obowiązek, wnp.pl (Dariusz Ciepela) - 09-12-2008
- [48] Pesta R. Analiza opłacalności budowy farmy wiatrowej o mocy 40 MW, „Rynek Energii” – nr 1/2009
- [49] Troen I., and Petersen E. L., *European Wind Atlas*. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1989.
- [50] Xinxin - walory wiatru w Polsce, www.xinxin.pl/index.html
- [51] Vattenfall Annual Report for 2006.
- [52] Pięć dużych elektrowni wiatrowych na Bałtyku PAP/Rzeczpospolita <http://www.wnp.pl/wiadomosci/84798.html>
- [53] Kusto Z. Zasoby energii wiatru w Polsce, wykład, Politechnika Gdańska
- [54] Stefaniak P., Zagraniczni inwestorzy zainwestują miliony w polską energię odnawialną wnp.pl - 31-03-2009
- [55] Malinowski D., W Polsce powstaną tysiące wiatraków? wnp.pl - 15-04-2009
- [56] http://en.wikipedia.org/wiki/Economics_of_new_nuclear_power_plants
- [57] Ciepela D., Elektrownie wiatrowe na polskim morzu najwcześniej za 10 lat wnp.pl- 02-04-2009
- [58] EXTERNE 1998, Externalities of Energy, Vol. 1-10, published by European Commission, Directorate General XII, Science Research and Development, Luxembourg, 1998
- [59] http://www.pke.com.pl/dp/cms/koncern_doc.xml?id=&DocId=1296&mp=mid78&mi=mid78
- [60] http://www.iea.org/textbase/Papers/2009/G8_FinCrisis_Impact.pdf
- [61] Joint Statement by the G8 Energy Ministers, May 2009, http://www.g8italia2009.it/static/G8_Allegato/Energia%202.pdf
- [62] De Diesbach: *Financing the nuclear expansion at a time of global financial crisis*. FORATOM, Press Briefing 28 May 2009
- [63] Greenpeace, European Renewable Energy Council – Future investment, July 2007
- [64] Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 24 października 2007 r. w sprawie konwencjonalnych źródeł energii i technologii wytwarzania energii ([2007/2091\(INI\)](#))