

ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE W ŚWIETLE DOŚWIADCZEŃ FRANCUSKICH

Bernard LAPONCHE – LUTY 2009



Spis treści

STRESZCZENIE	2
WSTĘP	3
1. ENERGETYKA JĄDROWA A BEZPIECZEŃSTWO	3
ENERGETYKA JĄDROWA, A ZALEŻNOŚĆ OD ROPY NAFTOWEJ	3
UDZIAŁ ENERGETYKI JĄDROWEJ W OSTATECZNYM SPOŻYCIU ENERGII	5
UDZIAŁ ENERGETYKI JĄDROWEJ W PIERWOTNYM SPOŻYCIU ENERGII	6
ZAGADNIENIE URANU	7
2. ENERGETYKA JĄDROWA, A ŚRODOWISKO ORAZ PŁYNĄCE Z NIEJ ZAGROŻENIA	7
ENERGETYKA JĄDROWA, A KLIMAT: EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH	7
ZANIECZYSZCZENIE ŚRODOWISKA I ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ ENERGII JĄDROWEJ	8
3. KWESTIE EKONOMICZNE	11
CAŁOKSZTAŁT KOSZTÓW	11
„CENA RYNKOWA” ENERGII JĄDROWEJ NIE ISTNIEJE	12
KOSZTY INWESTYCJI ELEKTROWNI EPR	13
PORÓWNIANIE ENERGETYKI JĄDROWEJ I EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ	14
4. ALTERNATYWNE ROZWIĄZANIA DLA POLSKI	14
SPOŻYCIE KOŃCOWE PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ BRUTTO	14
PROGNOZY DO ROKU 2025	15
MOŻLIWE DO WDROŻENIA I UZUPEŁNIAJĄCE SCENARIUSZE W PRZYPADKU NIE WPROWADZENIA EJ	15
5. WNIOSKI	17
ZAŁĄCZNIK 1: BILANS ENERGETYCZNY I ELEKTRYCZNY DLA POLSKI (2007)	20
ZAŁĄCZNIK 2: BILANS ENERGETYCZNY I ELEKTRYCZNY DLA 15. UE (2007)	22
ZAŁĄCZNIK 3: BILANS ENERGETYCZNY I ELEKTRYCZNY DLA FRANCJI (2007)	24

Streszczenie

Po okresie stagnacji produkcja energii jądrowej przechodzi ponownie okres wzmożonego zainteresowania ze strony wielu rządów, które przede wszystkim prezentują korzyści płynące z użycia tej technologii pod względem bezpieczeństwa energetycznego i walki ze zmianami klimatycznymi. Dotyczy to w szczególności Francji, która już do tej pory rozwinęła największy na świecie program jądrowy z udziałem energii jądrowej w całkowitej produkcji energii elektrycznej w wysokości 80%.

Polska, posiadająca pewne ograniczenia w rozwoju swego systemu energetycznego, interesuje się korzyściami płynącymi z wprowadzenia energii jądrowej do produkcji energii elektrycznej.

Niniejszy dokument analizuje francuski program energetyki jądrowej pod względem bezpieczeństwa zarówno energetycznego jak i środowiska, rozpatrując jej korzyści (zmniejszenie zależności od ropy naftowej) i mankamenty (potencjalne zagrożenia oraz zanieczyszczenie środowiska). Analiza ta, uzupełniona o szereg elementów dotyczących ocen ekonomicznych, dostarcza Czytelnikowi materiał do ponownego przemyślenia sensowności ewentualnego wprowadzenia sektora jądrowego do energetycznego bilansu Polski i proponuje szereg możliwych rozwiązań alternatywnych, bardziej dostosowanych do rozwoju gospodarczego i społecznego Polski.

WSTĘP

W dzisiejszym świecie stojącym w obliczu rosnących cen kopalnych źródeł energii i zagrożeniami związanymi ze zmianami klimatycznymi w bliskiej perspektywie produkcja energii jądrowej znów spotyka się z zainteresowaniem, po dwóch dekadach globalnej stagnacji.

Rząd francuski, dysponujący produkcją energii elektrycznej pochodzącą w 80% ze źródeł jądrowych, jest „guru atomowym wśród wszystkich krajów”. Głównymi jego argumentami za wprowadzaniem tego rodzaju źródła energii są bezpieczeństwo energetyczne i walka ze zmianami klimatycznymi. Orędownicy energii jądrowej przedstawiają trzy rodzaje argumentów zachwalających korzyści wynikające z wykorzystania tego źródła energii do produkcji energii elektrycznej: bezpieczeństwo energetyczne (lub „niezależność energetyczna”), redukcja emisji gazów cieplarnianych wraz z innymi aspektami środowiskowymi oraz interes gospodarczy.

W niniejszym artykule badamy, czy argumenty te są słuszne po uwzględnieniu ryzyka i przeszkód ekonomicznych, analizując przykład francuski i zastanawiając się, jakie mogą być konsekwencje – energetyczne, środowiskowe i ekonomiczne – wprowadzenia elektrowni jądrowych do polskiego systemu produkcji energii elektrycznej.

1. ENERGETYKA JĄDROWA A BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE

Dla większości krajów, zwłaszcza dla większości krajów europejskich, podstawowym zagrożeniem dla bezpieczeństwa energetycznego jest zależność od ropy naftowej rozważana w kategoriach gospodarczych (wzrost cen), geopolitycznych i zasobów na poziomie globalnym.

Przy 80% udziale produkcji energii elektrycznej z elektrowni atomowych Francja zajmuje wyjątkową pozycję na świecie¹. Taki wybór „wszystko z energii atomowej” jest oficjalnie podstawą deklaracji, że energia jądrowa zapewnia Francji niezależność energetyczną.

Ale czy tak jest naprawdę?

1.1 Energetyka jądrowa a zależność od ropy naftowej

Wykorzystanie energii jądrowej do celów przemysłowych jest ograniczone do wytwarzania energii elektrycznej. Zużycie ropy naftowej dotyczy głównie sektora transportu i ciągle wzrasta.

¹ Dziesiątka krajów produkujących energię jądrową stanowi 85% światowej produkcji, a udział produkcji energii jądrowej przez poszczególne państwa wyglądał w 2005 r. następująco: Francja (79%), Ukraina (49%), Szwecja (40%), Korea Południowa (38%), Japonia (28%), Niemcy (26%), Wielka Brytania (20%), Stany Zjednoczone Ameryki (19%), Rosja (16%), Kanada (15%) – źródło: IEA 2007. www.enerdata.fr

Oznacza to, że energia elektryczna i ropa naftowa mają niewiele wspólnego poza przypadkiem najbiedniejszych krajów rozwijających się, które są zależne od ropy naftowej wykorzystywanej do produkcji energii elektrycznej i które są obecnie pierwszymi ofiarami wzrostu cen ropy naftowej.

Tabela 1 pokazuje, że zużycie ropy na jednego mieszkańca we Francji jest wyższe niż jej głównych sąsiadów. Olbrzymi program jądrowy nie zmniejsza wcale zależności Francji od ropy naftowej.

Tabela 1: Zużycie ropy naftowej na mieszkańca w czterech krajach europejskich w 2007 r.

Ludność (w mln)	60,8	82,4	58,7	60,2
Liczba ton	1,46	1,36*	1,31	1,33

* Zużycie ropy naftowej w Niemczech spadło o 10% między 2006 a 2007 r.

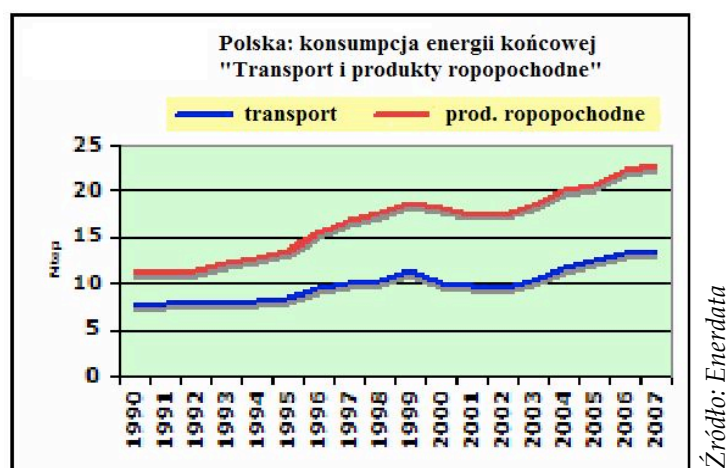
Źródło: Enerdata²

Wynik ten nie jest zbyt zaskakujący, ponieważ w rzeczywistości elektrociepłownie wykorzystujące paliwa kopalne zużywają coraz mniej ropy. Lecz potwierdza on, iż energia jądrowa nie zmniejsza w żaden sposób głównego uzależnienia, tj. uzależnienia od ropy naftowej.

Bilans energetyczny Polski w 2007 r. przedstawiony w Załączniku 1 ukazuje, że węgiel jest podstawowym źródłem pierwotnym i jest wykorzystywany głównie do produkcji energii elektrycznej i ciepła sieciowego.

Z drugiej strony to właśnie paliwa ropopochodne przodują w finalnym zużyciu energii, w którym mają 36% udział. Podobnie jak we wszystkich krajach europejskich, głównym konsumentem produktów naftowych jest transport (58%). Sektor transportu jest zaś zależny w 97% od ropy.

Para „transport i ropa” jest więc ogromnie czułym wskaźnikiem jeśli chodzi o bezpieczeństwo energetyczne, tym bardziej że od roku 2002 postępuje stały silny wzrost zużycia ropy i nasilenie pracy przewozowej, jak pokazuje poniższy wykres.



Jak pokazuje przypadek Francji, energetyka jądrowa nie przynosi żadnej poprawy w zakresie niezależności energetycznej.

² www.enerdata.fr

1.2 Udział energetyki jądrowej w ostatecznym spożyciu energii

Aby ocenić wagę wkładu energii jądrowej do całkowitej energii zużywanej w sferze gospodarczej i społecznej (przemysł, transport, mieszkalnictwo, usługi, rolnictwo) należy spojrzeć na rozkład zużycia energii finalnej pomiędzy różnorodne źródła i sektory produkcji energii dla Francji, jak pokazano w Tabeli 2³.

Tabela 2: Zużycie energii finalnej we Francji* (2007)

Źródła	Węgiel	Produkty ropopochodne	Gaz	Elektryczność	Źródła ciepłe**	Biomasa	OGÓŁEM
Mtep***	6,2	85,5	31,9	36,9	4,2	11,1	175,8
	3,5%	48,7%	18,1%	21%	2,4%	6,3%	100%

* W tym zastosowanie pozaenergetyczne (17,3 Mtep produktów ropopochodnych i gazu ziemnego)

** Energia geotermalna, energia słoneczna, ciepło sieciowe (w głównej mierze)

*** Mtep: miliony ton ekwiwalentu ropy naftowej;

Źródło: Enerdata

Produkty ropopochodne stanowią 49% finalnego zużycia energii, zajmując pierwszą pozycję i wyprzedzając energię elektryczną oraz gaz.

Finalne zużycie energii elektrycznej wynosi 36,9 Mtep tj. 429 TWh⁴.

Na podstawie bilansu energii elektrycznej można obliczyć, iż z tych 429 TWh, 54 TWh pochodzi z elektrowni wodnych (i trochę z wiatrowych), 50 z elektrociepłowni i 9 z importu. Wkład elektrowni jądrowych wynosi więc 316 TWh.

Wkład energii jądrowej do końcowego zużycia energii elektrycznej wynosi zatem 74%. Ponieważ udział energii elektrycznej w zużyciu energii finalnej wynosi 21%, **udział energii jądrowej w zużyciu energii finalnej we Francji wynosi 15,5%**.

Dlatego też trudno jest udawać, iż energia jądrowa zapewnia Francji niezależność energetyczną.

W przypadku Polski stwierdzamy, że końcowe zużycie energii elektrycznej stanowi obecnie 14% końcowego zużycia energii końcowej ogółem. Można założyć, że udział ten będzie rósł, by za jakiś czas osiągnąć wartość 19%, czyli taką jak w unijnej „piętnastce” . w 2007 roku.

Zakładając, że udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej w Polsce mógłby sięgnąć 25% w horyzoncie czasowym prawdopodobnie przekraczającym rok 2025, widzimy, że udział energii jądrowej w końcowym zużyciu energii w Polsce byłby rzędu 5%.

³ Bilans energetyczny i elektryczny dla Francji przedstawiony jest w Załączniku 3.

⁴ TWh: terawatogodzina lub miliard kWh (kilowatogodzin).

1.3. Udział energetyki jądrowej w spożyciu energii pierwotnej

Produkcja energii elektrycznej z energii jądrowej jest uważana w bilansie energetycznym za produkcję pierwotną – tak samo jak produkcja energii elektrycznej ze źródeł wodnych (lub wiatrowych). Lecz o ile przy korzystaniu z tych ostatnich 1 TWh jest liczona jako 0,086 Mtep energii pierwotnej, ta sama ilość energii elektrycznej wyprodukowana w reaktorze jądrowym jest liczona jako 0,26 Mtep energii pierwotnej. Wynika to z faktu, że elektrownia jądrowa jest szczególną elektrownią cieplną, w której jest wytwarzane ciepło dzięki zjawisku rozszczepiania jąder atomów we wnętrzu reaktora, a źródłem energii jest uran używany jako paliwo (jest to uran naturalny nieznacznie "wzbogacony" w Uran 235). I to właśnie ilość energii cieplnej produkowanej w reaktorach jądrowych jest liczona jako energia pierwotna. Ponieważ wydajność elektrowni atomowej (liczona jako stosunek wielkości produkcji energii elektrycznej brutto do ilości wytworzonego ciepła) jest niska, energia elektryczna, która jest w ten sposób produkowana, posiada wartość „pierwotną” trzy razy wyższą niż produkowana przez elektrownie wodne.

W przypadku Francji produkcja jądrowa brutto wynosiła w 2007 roku 440 TWh, co stanowi 114 Mtep^{4a}, z których około 96 Mtep jest wliczane do zużycia krajowego, zaś reszta do eksportu. Opierając się na tej wartości (114 Mtep), francuskie władze twierdzą, że energia jądrowa przyczynia się w 40% do "niezależności energetycznej" Francji⁵.

Z powodu owych rozbieżności w rozliczaniu energetycznym ocena znaczenia produkcji energii jądrowej nie może opierać się na tych danych.

Właściwym pytaniem jest to, jaka wielka ilość energii ze źródeł alternatywnych byłaby potrzebna do zapewnienia odbiorcom końcowym we Francji takiej samej ilości energii elektrycznej, jak za pośrednictwem energetyki nuklearnej.

We Francji w celu zapewnienia takiej samej ilości energii elektrycznej do sieci jak tej pochodzącej z elektrowni atomowych, tj. ok. 350 TWh, potrzeba by zużywać 52 Mtep gazu ziemnego w elektrowniach o cyklu skojarzonym⁶, lub 40 Mtep gazu ziemnego oraz 7 Mtep energii odnawialnej niecieplnej (elektrownie wodne, wiatrowe, fotowoltaiczne). *W tych nowych warunkach dodatkowa ilość gazu "zastępująca" energię jądrową wynosi w granicach 18%–24% zużycia całkowitej energii pierwotnej. Wartości te stanowią zatem udział energii jądrowej w zużyciu energii pierwotnej w zakresie bezpieczeństwa energetycznego.*

Trzeba dodać, że zużycie energii elektrycznej we Francji jest szczególnie wysokie, zwłaszcza z powodu ogrzewania elektrycznego. Polepszenie oszczędności energii elektrycznej, zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii cieplnej do ogrzewania pomieszczeń i podgrzewania wody, coraz powszechniejsze stosowanie wysoko sprawnych technologii gazowych (kogeneracja, trójgeneracja) i zwiększenie udziału energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej może pomóc zmniejszyć zużycie gazu do wytwarzania energii elektrycznej, w tym przypadku będącej "zamiennikiem" energii jądrowej.

4a 1 Mtep = 101 ton ekwiwalentu ropy (0,22Mtep = 1TWH = 10⁹ kWh)

⁵ W 2007 r. całkowite zużycie energii pierwotnej we Francji wynosiło 270 Mtep.

⁶ Elektrownie o cyklu skojarzonym o sprawności 58%

1.4. Zagadnienia dotyczące uranu

W statystykach energetycznych, energetyka jądrowa jest uważana za "energię elektryczną pierwotną", produkowaną w całości na terytorium kraju (tak samo jak np. wodna). Jej produkcja jest zatem uważana za "krajową".

Tymczasem głównym źródłem energii w elektrowni jądrowej jest uran naturalny i jest on surowcem w całości importowanym, zarówno dla Francji, jak i dla innych krajów europejskich.

Dlatego jest niezgodne z prawdą uważanie energii jądrowej za „narodową”, nawet jeśli obecnie można tworzyć duże zapasy uranu. Gwarancja dostaw na następne 40 lub 50, czyli czasu życia elektrowni jądrowych, które mają być zbudowane w ciągu najbliższego dziesięciolecia daleka jest od pewności, chociażby z powodu wyczerpania naturalnych zasobów uranu dostępnych po konkurencyjnych cenach .

2. ENERGETYKA JĄDROWA A ŚRODOWISKO ORAZ PŁYNĄCE Z NIEJ ZAGROŻENIA

W tym miejscu rozważymy kwestie wpływu energii nuklearnej na środowisko, mając świadomość, że zagrożenie zmiany klimatu jest obecnie postrzegane jako najważniejszy problem ochrony środowiska na poziomie globalnym. Nie może jednak stanowić ono jedyne kryterium oceny zalet i wad różnych możliwych opcji energetycznych. Należy również wziąć pod uwagę czynniki takie jak lokalne zanieczyszczenia, zagrożenie wypadkami, czy odpady promieniotwórcze.

2.1. Energetyka jądrowa a klimat: emisja gazów cieplarnianych

Pod względem emisji dwutlenku węgla (CO₂) produkcja energii elektrycznej pochodzenia jądrowego posiada przewagę nad produkcją energii z paliw kopalnych. Należy jednakże wziąć pod uwagę emisję całego systemu produkcji energii jądrowej, łącznie z przemysłem paliwowym (wydobycie i przetwarzanie rudy uranowej, transport, wzbogacanie i produkcja paliwa jądrowego, przetwarzanie i transport odpadów promieniotwórczych, likwidacja obiektów jądrowych i inne...)

Emisję CO₂ z produkcji energii jądrowej szacuje się na 10 do 90 gramów CO₂ na kWh, w zależności od uwzględnienia, lub nie, całego systemu jądrowego i krajowego mix-u energetycznego. Emisja ta jest więc generalnie wyższa niż emisje z odnawialnych źródeł energii.

W odniesieniu do produkcji energii elektrycznej z paliw kopalnych emisje wynoszą od 840 g CO₂ na kWh dla nowoczesnych elektrowni węglowych (o 42% sprawności) do 370 g na kWh dla elektrowni gazowych w cyklu skojarzonym (o 58% sprawności).

Jeśli wychwytywanie CO₂ stanie się wykonalne technicznie i możliwe do przyjęcia pod względem ekonomicznym, wartości te mogą być znacząco niższe.

Emisje gazów cieplarnianych we Francji w 2005 r. wynosiły 553 Mteq CO₂⁷, czyli 378 Mton CO₂.

Dla oszacowania wpływu energii jądrowej na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń należy porównać emisje CO₂ obecnych systemów jądrowych do emisji elektrowni gazowych w cyklu skojarzonym, " produkcji 350 TWh, jak pokazano w rozdziale 1.3).

W zależności od poziomu emisji na kWh przypisywanej produkcji energii jądrowej różnica między emisjami tych dwóch systemów wynosi pomiędzy 100 a 130 Mteq CO₂, lub 19% do 24% całkowitej emisji gazów cieplarnianych we Francji. Są to wartości dalekie od pomijalnych, ale pozostaje nadal 76% w najbardziej korzystnym dla energii jądrowej przypadku. Jeżeli produkcja energii jądrowej jest zastąpiona przez produkcję ze źródeł odnawialnych, zysk w redukcji emisji CO₂ jest porównywalny, a nawet wyższy (na przykład w przypadku energii wiatrowej).

Porównanie poszczególnych krajów przedstawione w tabeli 3 pokazuje, że chociaż korzyści dla Francji pod względem emisji gazów cieplarnianych, wynikające z realizowania programu nuklearnego, nawet jeśli jest realistyczny, nie są aż tak istotne, jak twierdzą zwolennicy energii jądrowej.

Tabela 3: Emisja gazów cieplarnianych czterech krajów europejskich (2005)

	Francja	Niemcy	Włochy	Wlk. Brytania
Ludność (w mln)	60,8	82,4	58,8	60,2
Emisja gazów cieplarnianych na mieszkańca (teq CO ₂)	9,1	12,1	9,9	10,9
Różnica w stosunku do Francji (%)	0%	+ 33%	+ 9%	+ 20%

Źródło : Europejska Agencja Ochrony Środowiska

2.2. Zanieczyszczenie środowiska i zagrożenia związane z produkcją jądrowej energii elektrycznej

Produkcja energii jądrowej, przynajmniej przy użyciu obecnie stosowanych technologii, ma trzy podstawowe wady: ryzyko poważnych awarii, zarządzanie składowaniem odpadów radioaktywnych i ryzyko rozprzestrzeniania się broni jądrowej. Ma to istotne znaczenie szczególnie w odniesieniu do EPR, ostatniego typu elektrowni francuskiego programu jądrowego.

Ryzyko groźnego wypadku

Ryzyko groźnego wypadku powodującego poważne konsekwencje dla pracowników, okolicznej ludności (lub nawet tej mieszkającej dalej) w otoczeniu reaktorów jądrowych i wytwórni paliwa jądrowego można uznać za mało prawdopodobne ze względu na środki

⁷ „Tona ekwiwalentu CO₂” lub „teq CO₂” jest wspólną jednostką emisji różnych gazów cieplarnianych.

ostrożności podejmowane w krajach, które już wprowadziły elektrownie jądrowe. Ryzyko takie jednak istnieje i musi być brane pod uwagę, gdyż skutki takich wypadków mogą być druzgocące, jak to pokazała katastrofa w Czarnobylu w kwietniu 1986 roku.

Dla reaktorów jądrowych głównym ryzykiem jest zdarzenie przypadkowe mogące doprowadzić do niekontrolowanych reakcji łańcuchowych rozszczepienia jader atomowych i następnie stopienia paliwa jądrowego w sercu reaktora.

Ryzyko to zostało zilustrowane w szczególności przez wypadek w reaktorze PWR⁸, najbardziej rozpowszechnionego typu reaktora na świecie, który zdarzył się w marcu 1979 roku w elektrowni atomowej Three Mile Island w Stanach Zjednoczonych. Reaktor został całkowicie zniszczony, ale materiały radioaktywne nie rozprzestrzeniły się poza teren elektrowni, dlatego nie było ofiar w ludziach. Inaczej było w Czarnobylu. Ogrom tej katastrofy i jej katastrofalne skutki są powszechnie znane.

Istnieje kilka różnych powodów mogących zainicjować groźną katastrofę nuklearną, lecz najgroźniejszy jest splot tych różnych przyczyn: awarie sprzętu, błędy ludzkie, przypadkowe akty agresji z zewnątrz, czy akty złej woli.

Katastrofa w Czarnobylu w 1986 roku ukazała prawdziwe oblicze i ogrom poważnej awarii jądrowej. Obecnie głównym problemem nie jest to, czy podobny wypadek jak w Czarnobylu byłby możliwy, lecz czy podobna awaria jest możliwa w przypadku obecnych "zachodnich" reaktorów. **Prawdopodobieństwo takiej katastrofy jest na szczęście bardzo niskie, ale nikt nie może powiedzieć, iż ono nie istnieje, zwłaszcza jeżeli weźmiemy pod uwagę możliwość ataków zewnętrznych. W kwestii tego ryzyka nie powinni wypowiadać się eksperci, ani tym bardziej zwolennicy energetyki jądrowej.** Jest to pytanie, na które odpowiedzi powinni udzielić obywatele w ramach demokratycznego głosowania.

Odpady radioaktywne

Obecnie istnieją dwa sposoby postępowania ze zużytym paliwem z reaktorów jądrowych. Większość krajów przechowuje zużyte paliwo jądrowe. O ile rozwiązanie to jest zdecydowanie najprostsze i najmniej kosztowne w krótkim i średnim okresie, to oczywiście nie jest zadowalające w perspektywie długoterminowej. Daje ono jednak pozorną korzyść polegającą na tym, że nie pociąga za sobą wielu zagrożeń, które z kolei przynosi technologia przerobu paliwa.

Technologia przerobu zużytego paliwa jądrowego jest rozwijana i podtrzymywana przez Francję⁹, w podwójnym celu: produkcji plutonu oraz powtórny wykorzystaniu odpadów. Samo przerabianie wypalonego paliwa jądrowego jest procesem chemicznym bardzo skomplikowanym, w środowisku wysoce promieniotwórczym, zaś zakład przerobu wypalonego paliwa jest miejscem o wysokim ryzyku zaistnienia wypadków jak i potencjalnych ataków. Poza tym, podczas tych procesów emitowane są radioaktywne gazy i ciecze niebezpieczne dla zdrowia, jak również dla środowiska (skażenie Północnego Atlantyku). Również sam transport paliwa radioaktywnego, podobnie jak radioaktywnych odpadów oraz plutonu, jest obciążony wysokim ryzykiem. Wreszcie przerób ten mnoży odpady radioaktywne różnego rodzaju, o niskiej radioaktywności, lecz niebezpieczne na tyle, że również powstaje problem ich przechowywania.

⁸ PWR: reaktor wodny ciśnieniowy. Wchodzi on w skład większości elektrowni jądrowych na świecie.

⁹ Przerób zużytego paliwa jest również praktykowany w Wielkiej Brytanii. Technologia ta została pierwotnie opracowana do produkcji plutonu w celach wojskowych.

Biorąc pod uwagę fakt, iż nie wszystkie zużyte paliwa mogą być przerabiane, szczególnie paliwa mieszane tlenków uranu i plutonu (MOX), trzeba więc zapewnić zarówno składowanie nie przerobionego zużytego paliwa oraz składowanie różnego rodzaju odpadów przerobionych.

Pod koniec funkcjonowania elektrowni jądrowych trzeba będzie poradzić sobie ze znaczną ilością materiałów radioaktywnych: tzn. wszystkimi odpadami wytworzonymi w czasie „likwidacji” elektrowni jądrowych. W rzeczywistości nieczynne elektrownie jądrowe stają się miejscami o wysokiej radioaktywności, które należy rozebrać i zniszczyć, zaś cały „gruz” wywieźć i składować.

Jeśli chodzi o składowanie najbardziej niebezpiecznych odpadów radioaktywnych (pod względem ich radioaktywności lub długości ich trwania), oficjalnym rozwiązaniem, zaproponowanym przez Francję, jest ich składowanie w głębokich warstwach geologicznych. Poza dyskusją na temat niezawodności tej techniki w bardzo długim okresie czasu, decyzja taka niesie ze sobą refleksję nad głównym zagadnieniem etycznym: czy mamy prawo zakopywać te niezwykle niebezpieczne materiały na następne tysiąclecia? Kto może przewidzieć jaki będzie stan naszego kraju za tysiąc lub dwa tysiące lat? Czy przypadkiem w zbiorowej świadomości społeczeństwa nie pozostanie wrażenie, że w tym miejscu dawno temu zostało zakopane coś bardzo cennego i że należy teraz wykopać to z powrotem?

Tym bardziej niebezpieczne byłoby rozwiązanie przerobu odpadów i ich zakopywania gdyby zostało zaproponowane jako rozwiązanie „uniwersalne”. Czy bowiem zamierzamy „naszpikować” całą skorupę Ziemi takimi zapasami trucizny?

Proliferacja (rozprzestrzenianie) broni jądrowej

Wykorzystanie materiałów i technologii jądrowej do celów wojskowych lub ataku terrorystycznego jest zasadniczym problemem na całym świecie.

Jeżeli pochodzenie obecnie istniejących reaktorów wykorzystywanych do zasilania elektrowni energią elektryczną jest natury militarnej¹⁰, możemy uznać, że w większości krajów, programy cywilne budowy elektrowni nie mają bezpośredniego związku z wojskowymi. Ale wygląda to nieco inaczej w przypadku paliwa jądrowego.

Pierwsze pytanie dotyczy rozwoju cywilnej energetyki jądrowej na poziomie państwa. Głównym argumentem używanym przez zwolenników energii jądrowej jest „niezależność narodowa”. Nawet jeśli abstrahujemy od sposobu, w jaki kraj uzyskuje uran naturalny (w pełni importowany spoza krajów europejskich), niezależność ta wymaga, aby państwo kontrolowało technologie wytwarzania paliw i w konsekwencji również technologie wzbogacania uranu. Najczęściej stosowana jest obecnie metoda dyfuzji gazowej. Wymaga ona jednak tworzenia dużych instalacji i ogromnego zużycia energii elektrycznej. Technologia najprostszą jest ultrawirrowanie, za pomocą której można stosunkowo łatwo osiągnąć bardzo wysoki stopień wzbogacenia. Jeżeli kraj zamierza przerabiać zużyte paliwo, głośząc, że czyni to w celach „cywilnych”, zawsze może produkować pluton.

Wzbogacenie pozwala na produkcję uranu wysoko wzbogaconego w uran 235, a przetwarzanie pozwala na produkcję prawie czystego plutonu 239: opanowanie tych dwóch technologii lub jednej z nich pozwala tym krajom, jeśli tylko będą miały ochotę, rozpocząć produkcję „bomb atomowych”.

¹⁰ Reaktory PWR zostały opracowane w latach 50. jako wyposażenie podwodnych okrętów atomowych.

Atak terrorystyczny z wykorzystaniem materiałów jądrowych lub odpadów radioaktywnych wymagałby jedynie kradzieży tych materiałów bądź ich „defraudacji”. Zrozumiałe jest więc, że przy przewożeniu znacznych ilości odpadów radioaktywnych lub plutonu na dużych odległościach, między różnymi krajami, operacja taka będzie znacznie łatwiejsza.

Oprócz trudności technologicznych potrzeba wysokiego poziomu wiedzy w zakresie prowadzenia, utrzymania i zapewnienia bezpieczeństwa reaktorów i fabryk, lekkomyślne rozprzestrzenianie technologii jądrowych przez ich promotorów może znacząco zwiększyć ryzyko konfliktu lub ataku jądrowego.

Na zakończenie niniejszego rozdziału dotyczącego „Energii jądrowej i środowiska” zacytuujemy stanowisko niemieckiego rządu wyrażone w dokumencie „*Podejmowanie działań przeciwko globalnemu ociepleniu, przegląd niemieckiej polityki klimatycznej*” z września 2007 roku:

„Energia jądrowa jest celowo wykluczona z koncepcji ochrony klimatu rządu niemieckiego. Niebezpieczeństwa energetyki jądrowej są dobrze znane. Ataki terrorystyczne na elektrownie jądrowe mogą mieć katastrofalne skutki, z kolei zagospodarowanie wysoko toksycznych odpadów jądrowych jest nadal problemem globalnym, zaś użycie plutonu w celach wojskowych zwiększa problem bezpieczeństwa narodowego”

3. KWESTIE EKONOMICZNE

3.1 Całokształt kosztów

Ocena ekonomiczna produkcji energii jądrowej, przeszłej lub przyszłej, musi uwzględniać wszystkie koszty w długim okresie czasu, co jest szczególną cechą tej technologii, związaną z kwestią długoterminowego zarządzania odpadami radioaktywnymi. Bardzo ważne jest określenie nie tylko kosztów inwestycji, ale również kosztów funkcjonowania elektrowni w trakcie jak i po zakończeniu jej eksploatacji.

W przypadku Francji badania przeprowadzone w 1999 roku na zlecenie premiera¹¹ wykazały, że podczas trwania francuskiego programu elektrowni jądrowych (do 2000 roku), koszt inwestycji stanowił 25% całkowitych kosztów, koszty eksploatacji i konserwacji stanowiły 43%, a koszt paliwa 32% – 20% dla paliwa „przed reaktorem” i 12% dla paliwa „po reaktorze” – z dużą niepewnością co do rzeczywistych kosztów paliwa tych ostatnich. xxx

Koszty inwestycji

- Koszt elektrowni jądrowej, a w szczególności reaktora jądrowego, w zależności od wybranej technologii (samodzielnej lub importu)
- Koszta związane z produkcją paliwa jądrowego, z tą samą alternatywą (dotyczącą wzbogacania uranu, czy produkcji paliwa)

¹¹ Badania zlecone przez Lionela Jospina i zrealizowane przez J.–M. Charpina, dyrektora Komisji Planowania, B. Dessus, dyrektora CNRS, R. Pellat, Wysoką Komisarz ds. Energii Atomowej, nad „Oceną ekonomiczną elektrowni jądrowych”.

- Koszta zarządzania i składowania paliwa radioaktywnego
- Koszta budowy składowisk na odpady radioaktywne do składowania zużytego paliwa nie przerobionego i/lub składowania różnego rodzaju odpadów przerobionych.
- Koszta infrastruktury dla badań i rozwoju
- Inwestycja, o której często się nie pamięta: koszt linii przesyłowych bardzo wysokiego napięcia do przesyłu energii elektrycznej z elektrowni o bardzo wysokiej mocy (od 1000 do 1500 MWe na jednostkę, na ogół w skład elektrowni jądrowej wchodzi dwie jednostki).

W przypadku wyboru opcji samodzielnego rozwijania projektu elektrowni jądrowej, całkowite koszty inwestycyjne są bardzo wysokie. Jeżeli większość technologii jądrowej jest importowana, powstanie elektrowni opiera się na technologii dostarczonej i cena narzucana jest przez sprzedawcę. Nie ma wówczas korzyści dla krajowego przemysłu i możliwości lokalnego zatrudnienia.

Koszty funkcjonowania

- Koszt paliwa jądrowego (uranu naturalnego, uranu wzbogaconego)
- Koszt eksploatacji¹² i konserwacji (części zamienne) w elektrowni jądrowej
- Koszt zarządzania zużytym paliwem i odpadami radioaktywnymi
- Koszt likwidacji i demontażu elektrowni atomowych i zakładów przerobu paliwa jądrowego
- Koszt funkcjonowania instytucji badawczo i rozwojowych;
- Koszt nadzoru i kontroli bezpieczeństwa elektrowni atomowych i zakładów przerobu paliwa jądrowego (ogromne zadania techniczne i administracyjne, które realizowane są na koszt państwa).

O ile koszt elektrowni atomowej jest znany, gdy jest ona budowana lub kupowana, to koszt paliwa jądrowego może znacząco fluktuować na przestrzeni czterdziestu lub pięćdziesięciu lat technicznego funkcjonowania elektrowni w zależności od cen uranu. Oczywiście jest, że ożywienie energetyki jądrowej na świecie może doprowadzić do wzrostu kosztów uranu z powodu jego ograniczonych złóż. Z drugiej strony koszty składowania odpadów i zarządzania nimi w perspektywie średnio- i długoterminowej są wciąż bardzo mało znane, zwłaszcza koszty likwidacji elektrowni, które na podstawie kilku pierwszych doświadczeń były szacowane na zbyt niskim poziomie – teraz wiadomo, iż są znacząco wyższe, niż zakładano.

3.2 „Cena rynkowa” energii jądrowej nie istnieje

Z historycznego punktu widzenia w większości krajów, które rozwinęły energię jądrową, miało to miejsce w ramach polityki państwa, najczęściej związanej z programami wojсковymi, które podyktowały wybór tego typu reaktorów i paliwa. Toteż część kosztów było pokrywana przez państwo.

¹² Liczba personelu (500 osób na jednej jednostce 1500 MWe) jest wyższa niż dla elektrowni klasycznych

Ze względu na bardzo słaby rozwój produkcji energii jądrowej na świecie, a zwłaszcza w krajach OECD w ciągu ostatnich dwudziestu lat, nie istnieje „cena rynkowa” elektrowni jądrowych, która mogłaby być porównywana do ceny rynkowej obiektów powszechnie stosowanych, takich jak elektrownie węglowe, gazowe, wodne, a nawet farmy wiatrowe.

Tabela 4 pokazuje udział wzrostu mocy zainstalowanej w produkcji energii elektrycznej dla różnych sektorów w latach 2003–2006.

Tabela 4: Wzrost mocy zainstalowanej w produkcji energii elektrycznej dla różnych sektorów energetycznych w latach 2003–2006

Energetyka	gazowa	węglowa	wodna	wiatrowa	jądrowa	biomasa	ropa	OGÓŁEM
udział we wzroście	45%	40%	16%	7%	2%	2%	- 12%	100%

Źródło: Enerdata

3.3 Koszty inwestycji elektrowni EPR

Zamówiony po jednej sztuce w Finlandii i Francji, reaktor typu EPR (European Pressurized Water Reactor – Europejski Reaktor Ciśnieniowy) o mocy 1600 MWe, stworzony w oparciu o koncepcję francuską oraz niemiecką a sprzedawany przez firmę AREVA, jest pierwszym reaktorem, który buduje się w zachodniej Europie od ostatnich siedemnastu lat (a od dwudziestu ośmiu lat poza Francją) i pierwszą tego rodzaju konstrukcją na świecie.

Po stronie fińskiej operator energetyczny TVO podczas trwania etapu uzyskiwania pozwoleń, podał kwotę 2,5 miliarda euro jako cenę nowej elektrowni (Olkiluoto-3), a okres jej budowy zapowiedział na cztery lata. Wraz z wyborem EPR cena wzrosła do 3,2 miliarda euro. W połowie 2008 roku, dwa lata po rozpoczęciu prac, całkowity koszt inwestycji szacowany jest na 5 miliardów euro, a czas trwania budowy na 7 lat.

Po stronie francuskiej wstępne wyliczenia przedstawione rządowi w 2003 r. przez administrację wynosiły: 2 miliardy euro dla inwestycji i 28,4 euro za MWh¹³. Bardzo szybko owe „oficjalne” szacunki zostały okryte „tajemnicą handlową”. Używając obliczeń bardziej realistycznych, EdF przewidział, że koszt produkcji energii uzyskiwanej ze swojego nowego reaktora wynosiłyby od 43 to 46 euro za MWh w 2004 r. przy kosztach inwestycji wynoszących 3,4 miliarda euro (szacunki na lipiec 2008 r.).

W grudniu 2008 r. EdF poprawił swoje szacunki i ogłosił koszt 55 euro za MWh, przy kosztach inwestycji wynoszących 4 miliarda euro.

Tymczasem niemiecka firma E.ON szacuje koszt inwestycji EPR na 5 do 6 miliardów euro¹⁴.

¹³ 1 MWh (megawatogodzina) oznacza 1000 kWh (kilowatogodzin).

¹⁴ *Les Echos*, 3 grudnia, 2008 r.

Zatem konkurencyjność energetyki jądrowej jest coraz mniej zauważalna w porównaniu do elektrowni gazowych lub węglowych. A to wszystko przy dużej niepewności co do przyszłych kosztów demontażu, zagospodarowania odpadów i cenie uranu.

3.4 Porównanie energetyki jądrowej i efektywności energetycznej

W latach 1973–1986 Francja przeprowadziła dwa równoległe przedsięwzięcia: z jednej strony oszczędność energii na poziomie konsumpcji, z drugiej strony masowy rozwój produkcji energii jądrowej. Interesujące jest porównanie skutków energetycznych i kosztów wielkiego programu na rzecz "podaży" czyli, programu „elektro-jądrowego” i wysiłków połączonych z inwestycjami w zakresie oszczędności energii.

Porównanie to zostało opublikowane 16 września 1987 r. przez Dyрекcję Generalną ds. Energii i Surowców (DG EMP), która podkreślała znaczenie gospodarcze oszczędności dokonanych pomiędzy 1973 a 1987 rokiem. Na pierwszej stronie można przeczytać:

"Wyniki osiągnięte od czasu pierwszego kryzysu paliwowego w 1973 roku świadczą o znacznych korzyściach płynących z oszczędności energii, zarówno w odniesieniu do ich wpływu na niezależność energetyczną Francji, jak i na bilans handlu zagranicznego.

Oto niektóre dane ilustrujące tę skuteczność:

– Wysokość rocznych oszczędności osiągniętych od 1973 roku szacuje się na około 34 Mtep / rok w porównaniu do sytuacji, w której rezultatem byłaby konsumpcja dostosowana do wzrostu gospodarczego. Wynik ten zbliżał się do 56 Mtep rocznie po uruchomieniu programu jądrowego i pokazuje znaczenie oszczędności energii w krajowej polityce energetycznej.

– **Oszczędność 34 Mtep/rok wymagała inwestycji w wysokości 100 miliardów franków. Porównanie tego wyniku z 500 miliardami franków wydanymi na produkcję 56 Mtep energii jądrowej rocznie uwidacznia w sposób ewidentny korzyści płynące dla społeczeństwa z tej oszczędności energii".**

Oszczędności energii, głównie z ropy, realizowane rokrocznie do końca tego okresu, dzięki inwestycjom dokonany w tym okresie, są wyrażone w energii pierwotnej: 34 Mtep rocznych oszczędności przekłada się na około 28 Mtep oszczędności energii końcowej. Produkcja programu jądrowego jest również wyrażona w energii pierwotnej i tak 57 Mtep energii pierwotnej produkcji odpowiada 19 Mtep energii końcowej. Nakłady inwestycyjne na 1 Mtep oszczędności energii końcowej wynoszą 3,5 miliarda franków, w porównaniu do 26 miliardów franków inwestycji jądrowej dla wyprodukowania 1 Mtep energii. **Stosunek wartości tych dwóch inwestycji wynosi 7,4 na korzyść oszczędności energii.**

4. ALTERNATYWNE ROZWIĄZANIA DLA POLSKI

4.1 Spożycie końcowe produkcji energii elektrycznej brutto

W 2007 r. końcowe zużycie energii w Polsce wynosiło 105 TWh (patrz bilans energii elektrycznej w Załączniku 2), przy produkcji brutto 159 TWh. Tę widoczną różnicę (stosunek pierwszej wartości do drugiej wynosi 0,66) między produkcją brutto a zużyciem końcowym

wynika z kilku czynników: nadwyżki eksportu netto (5,3 TWh), wysoka konsumpcja własna (13,6 TWh), wysokie zużycie energii przez sektor energetyczny (17,9 TWh) oraz **wysoki poziom strat w przesyłach i dystrybucji (15,9 TWh lub 11% produkcji netto, w porównaniu do 5% w Niemczech oraz 6% we Francji).**

Przed zaplanowaniem głębokich zmian w systemie produkcji, zwłaszcza przez wprowadzenie elektrowni jądrowych, należy z pewnością poczynić wysiłki w kierunku zwiększenia ogólnej wydajności istniejącego systemu energetycznego analizując każdą z tych pozycji. **Zmniejszenie strat przesyłowych i dystrybucyjnych winno być z pewnością jednym z pierwszych celów.**

W każdym przypadku szacowania przyszłych potrzeb produkcji energii należy brać za punkt wyjścia zużycie końcowe, by na tej podstawie ocenić produkcję konieczną do jego zaspokojenia, w najlepszych warunkach przesyłu oraz przy optymalizacji zużycia energii przez sektor energetyczny i bez uwzględniania ewentualnej nadwyżki eksportowej.

Na przykład stosunek końcowego zużycia energii elektrycznej do produkcji energii elektrycznej brutto wynosił 0,86 dla 15. krajów Unii Europejskiej w 2007 r., zaś dla Polski 0,66 (w tym samym roku) – jak pokazano w Załączniku 3.

4.2 Prognozy do roku 2025

Według prognozy opublikowanej przez Komisję Europejską w 2007 r.¹⁵, w 2025 ta wartość dla Polski będzie wynosiła 0,72.

To samo badanie przedstawia scenariusz "bazowy" w oparciu o politykę wewnętrzną do 2006 roku (a w szczególności o politykę wydajności energetycznej), w którym zużycie finalnej energii elektrycznej w Polsce w roku 2025 będzie wynosiło 161 TWh, w porównaniu do 105 TWh w 2007 roku. Jeżeli przyjmie się (w przypadku braku bardziej szczegółowej analizy) współczynnik 0,72 pomiędzy zużyciem końcowym i produkcją, produkcja energii elektrycznej brutto wynosiłaby wtedy 224 TWh. Jeśli przyjmie się założenie, że 25% tej energii elektrycznej, czyli 56 TWh, byłoby wytwarzane przez energię jądrową, będzie to stanowić dla elektrowni w mocach bazowych o całkowitej mocy zainstalowanej ok. 8000 MWe¹⁶, co stanowi ambitny program jądrowy w kraju, który musi wprowadzić w szczególności wszystkie programy bezpieczeństwa i niezbędną ochronę przed promieniowaniem (termin uruchomienia przemysłowego funkcjonowania tych elektrowni w 2025 roku wydaje się dosyć optymistyczny).

4.3 Możliwe do wdrożenia i uzupełniające scenariusze w przypadku nie wprowadzenia energetyki jądrowej

Biorąc pod uwagę, że zużycie własne energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych wynosi ok. 5%, to należałoby produkować dodatkowo ok. 50 TWh, lub nie konsumować około 36 TWh (w przeliczeniu na energię finalną).

Można zatem rozważyć kilka scenariuszy, które mogą się wzajemnie uzupełniać:

¹⁵ „EU-27 Energy Baseline Scenario to 2030” w *European Energy and Transport – Trends to 2030 – Update 2007*

¹⁶ A dokładniej 7600 MWe, biorąc pod uwagę stosunek produkcji brutto do mocy zasilania dla elektrowni jądrowych w Unii Europejskiej w 2007 roku

a) Oszczędność energii elektrycznej:

Unia Europejska postawiła sobie za ogólny cel oszczędność energii na poziomie 20% (wyrażonej w energii pierwotnej i w odniesieniu do planu podstawowego). Różne działania w różnych dziedzinach, a szczególnie w sektorze budownictwa mieszkaniowego i sektorze usługowym (pierwszy sektor pod względem konsumpcji energii elektrycznej w Polsce w roku 2007) powinny przyczynić się do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej w porównaniu do scenariusza podstawowego. Oszczędność energii elektrycznej na poziomie 15%¹⁷ w stosunku do zużycia podstawowego do 2025 r. wynosiłaby **24 TWh**.

Należy zauważyć, że ta sama polityka efektywności energetycznej będzie miała zastosowanie również w przypadku innych produktów sektora energetycznego, zwłaszcza gazu. Będzie zatem trzeba dokonać oceny globalnej całości osiągalnych oszczędności, która pozwoliłaby na wprowadzenie korzystnych substytucji, np. na przeznaczenie oszczędzonego gazu ziemnego do zastosowań termicznych w produkcji energii elektrycznej.

b) Produkcja energii elektrycznej przez elektrownie gazowe w cyklu skojarzonym:

Elektrownie te mają doskonałą wydajność (58% w przypadku najbardziej nowoczesnych) i emisje CO₂ są znacznie mniejsze niż w elektrowniach węglowych. Aby uzyskać 36 TWh energii elektrycznej końcowej i szacując na 10% na zużycie własne oraz straty, wymagana produkcja 40 TWh mogłaby zostać zapewniona przez spalanie **6 Mtep gazu ziemnego**.

c) Produkcja ciepła i/lub energii elektrycznej z biomasy:

Polska posiada znaczny potencjał biomasy – głównie odpady drewna, ale także biomasa z produkcji rolniczej.

Różne możliwe zastosowania są interesujące:

- (i) Produkcja bezpośrednia ciepła dostarczana do sieci ciepłowniczej, ewentualnie będąca zamiennikiem lub uzupełnieniem węgla.
- (ii) Uzupełnienie węgla w proporcji około 20% w istniejących elektrowniach produkujących w kogeneracji energię elektryczną i ciepłą.
- (iii) Produkcja autonomiczna energii elektrycznej i ciepła z kogeneracji.

Produkcja energii elektrycznej z biomasy w UE-15 wynosi 95 TWh (patrz Załącznik 3) przy zużyciu biomasy 29,4 Mtep. Obecnie w Polsce produkcja energii elektrycznej z biomasy wynosi 4,39 TWh, dla zużycia biomasy 1,27 Mtep. Widzimy, że „współczynniki wydajności” (TWh do Mtep) są bardzo podobne: 3,23 TWh na Mtep w UE-15 i 3,46 TWh z 15 Mtep w Polsce.

Aby uzyskać w Polsce 20 TWh energii elektrycznej z biomasy, należy zużyć – przy „wydajności” rzędu 3,3 – około **6 Mtep biomasy**.

¹⁷ Stosunek ilości oszczędzonej energii w sektorze budownictwa mieszkaniowego i trzeciego sektora szacowany przez Komisję Europejską w zielonej księdze nt. efektywności energetycznej, podzielonej przez całkowite zużycie energii elektrycznej Unii Europejskiej, w ramach 20% redukcji zużycia energii pierwotnej w 2020 r., wynosi 0,15 w porównaniu do scenariusza pierwotnego.

Oczywiście musimy dodać do tego zysku elektrycznego zysk w energii cieplnej, który pozwala zastąpić zużycie węgla lub gazu ziemnego lub je wyeliminować.

Należy również pamiętać, że metan wpływa znacząco na efekt cieplarniany¹⁸. Jest on generalnie mało brany pod uwagę w polityce przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Odzyskiwanie biogazu z odpadów w gospodarstwach domowych i oczyszczalniach ścieków z odpadów organicznych pozwala na bezpośrednie jego użycie w postaci gazu lub na zdecentralizowaną produkcję energii elektrycznej. Z drugiej strony Polska jest bogata w kopalnie węgla kamiennego i odzyskanie metanu w tych kopalniach może dać bardzo wymierne korzyści.

Połączenie tych scenariuszy pozwala wprowadzać działania na rzecz rozwoju systemu energetycznego oraz produkcji energii elektrycznej w Polsce z wykorzystaniem w dużej mierze krajowych zasobów (efektywności energetycznej i biomasy). Poza zyskiem ekonomicznym, alternatywy opierające się na efektywności energetycznej i na odnawialnych źródłach energii mają znaczną przewagę (nawet przewyższającą elektrownie jądrowe) w kategoriach emisji CO₂.¹⁹ Cykl kombinowany z użyciem gazu ziemnego jako paliwa zmniejsza z kolei te emisje o współczynnik 2,5 w porównaniu do elektrowni węglowych o podłożu fluidalnym (mających 40% sprawności energetycznej).

Nie rozważono tutaj innych interesujących źródeł o dużym potencjale w wytwarzaniu energii, takich jak wiatr i, w dalszej perspektywie, ogniwa fotowoltaiczne. Jednak już tylko przeanalizowane powyżej trzy scenariusze pozwalają z powodzeniem na pominięcie scenariusza jądrowego.

5. WNIOSKI

Porównując początkowe ambicje, wysiłki techniczne i ekonomiczne, których wymagało wprowadzenie energetyki jądrowej, to bilans tego ogromnego programu nuklearnego zrealizowanego pomiędzy 1975 a 2000 rokiem jest szczególnie rozczarowujący. Zawsze podkreślana proklamacja „niezależności energetycznej Francji” nie wytrzymują weryfikacji, ponieważ zużycie ropy na mieszkańca we Francji w 2007 r. jest większe niż u jej większych sąsiadów. Udział energii jądrowej w końcowym spożyciu energii wynosi jedynie 14%, natomiast analogicznie – energii z ropy stanowi 49%.

Z pewnością udział energii jądrowej pozwala na mniejsze uzależnienie od gazu lub węgla, ale zależność od ropy naftowej jest zdecydowanie najbardziej ograniczającym czynnikiem bezpieczeństwa energetycznego. Ponadto w produkcji energii elektrycznej w 80% pochodzenia jądrowego i opartej na tylko jednej technice reaktorów PWR, francuski system energetyczny stworzył sobie jedynie nową słabość.

¹⁸ Którego efekty w krótkim i średnim okresie w przypadku globalnego ocieplenia są oszacowane za nisko w obecnej metodologii inwentaryzacji jego emisji wyrażanej w tonach równoważnika dwutlenku węgla.

¹⁹ W świetle ujawnionych dokumentów i korespondencji naukowców z zespołu Badań Klimatycznych Uniwersytetu Wschodniej Anglii w listopadzie 2009 r. ochrzczono całą te badania mianem *Climagate* oraz największą mistyfikacją we współczesnej nauce. Patrz: Philip Coppens, *Climagate – oszustwo w sprawie globalnego ocieplenia*, Nexus (ed. polska) nr 3(71) s.13-16

W terminach ekonomicznych hasło "cała elektryczność – tylko z energii jądrowej" ("tout électrique – tout nucléaire"), które było podstawą do francuskiej polityki energetycznej przez ostatnie trzy dekady i jest nią nadal, w warunkach gospodarki globalnej nie dostarczyło Francji szczególnych korzyści, w porównaniu, na przykład, do Niemiec. Przeciwnie, monokultura jądrowa doprowadziła do znacznych opóźnień w rozwoju odnawialnych źródeł energii oraz ograniczyła możliwości oszczędzania energii, zwłaszcza energii elektrycznej.

Jeśli spojrzymy na problemy związane ze środowiskiem, prawdą jest, że produkcja energii elektrycznej z energii jądrowej przyczynia się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych (co obecnie wydaje się mało istotne – przyp. red.)²⁰. Ale nawet w skrajnym przypadku Francji obniżenie to można oszacować na 24% maksymalnej całkowitej emisji, co nie jest bez znaczenia, ale nie rekompensuje całości ryzyka i zanieczyszczeń, które produkuje całość złożonych i niebezpiecznych instalacji, produkcja odpadów radioaktywnych (z którymi nie wiadomo co się stanie w dłuższej perspektywie czasu) czy też trudności z demontażem urządzeń zwiększające ryzyko rozprzestrzeniania się skażenia.

Sytuacja przedstawiona przez analizę francuskiego programu nuklearnego pozwala przedstawić kilka refleksji na temat wprowadzenia produkcji energii jądrowej w Polsce.

W zakresie uzależnienia od ropy naftowej, Polska znajduje się w tym samym poziomie, co większość krajów europejskich. Zużycie ropy naftowej w coraz większym stopniu koncentruje się na transporcie, który zależy niemal wyłącznie od ropy. Energia jądrowa w tym przypadku nie ma większego znaczenia. Wydaje się rzeczą niezbędną i pilną, aby w priorytetowych projektach w zakresie polityki energetycznej uwzględnić kontrolę zużycia energii przez transport: rozwój transportu ekologicznego i transportu publicznego w obszarach miejskich, rozwój kolejowego transportu pasażerskiego, rozwój żeglugi morskiej (w tym przybrzeżnej) do transportu towarów, usprawnienie warunków prowadzenia i utrzymania pojazdów samochodowych, rozsądne ustalenia w kwestii prędkości i mocy silników, wprowadzenie na rynek pojazdów nisko-emisyjnych. Byłaby to znacząca zmiana, źródło nowych działań, wielu miejsc pracy a zarazem szansa dla polskiego przemysłu.

Zależność gazowa od dostawcy spoza Unii Europejskiej, mimo iż jest realna, to jednak zupełnie różni się od zależności od ropy. Po pierwsze stopień tej zależności (import netto podzielony przez całkowite zużycie) wynosi poniżej 61% dla gazu ziemnego, a 82% ropy naftowej w 2007 roku. Z drugiej strony źródła dostaw mogą być zróżnicowane, a globalne zużycie gazu jest znacznie niższe niż ropy naftowej, przy poziomie rezerw szacowanym na podobnym poziomie.

Jednak niektóre kraje, a w szczególności Polska, są uzależnione od jednego dostawcy, co czyni je wrażliwe na ewentualne zmiany w dostawach.

Kluczową kwestią związaną ze zmniejszeniem uzależnienia od gazu kraju takiego jak Polska (i krajów bałtyckich oraz krajów południowo-wschodniej części UE) nie jest powstrzymanie się od zużycia gazu ziemnego, ale pilne opracowanie połączonych europejskich sieci gazowych, prowadzące do wprowadzenia wspólnoty europejskiej w dziedzinie gazu

²⁰ patrz przypis 17.

ziemnego²¹ i dywersyfikacji źródeł dostaw poprzez rozwój technologii skroplonego gazu ziemnego (tj. m.in. budowę terminali gazowych). Konstrukcja takich połączonych sieci gazu w Europie powinna być priorytetem dla Unii Europejskiej, gdyż może zmniejszyć zależność gazową, dzięki rozwojowi technologii efektywnego korzystania z gazu.

Kluczowym elementem w systemie energetycznym zgodnym z zasadami ekorozwoju jest efektywność energetyczna w całej swojej różnorodności, tworząca podstawowe ramy dla rozwoju odnawialnych źródeł energii: oszczędność energii (np. lepsza izolacja ścian, podwójne okna) i architektura bioklimatyczna budynków, oszczędność energii elektrycznej przez urządzenia i sprzęt, rozwój baterii słonecznych do ogrzewania nowych domów i do ogrzewania wody we wszystkich zastosowaniach, rozwój produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, w szczególności z wiatru (w tym z wiatraków typu off-shore) i dzięki fotowoltaice, rozwój energii elektrycznej z biomasy (w połączeniu z produkcją ciepła).

Wydajność energetyczna we wszystkich sektorach, polityka transformacji systemu transportowego, racjonalne i efektywne wykorzystania gazu oraz rozwój energii odnawialnej wydają się być priorytetami polskiej polityki energetycznej. Jest to strategia „każdy wygrywa” („win-win”) w zakresie planu gospodarki i zatrudnienia, bezpieczeństwa energetycznego, ochrony środowiska i współpracy międzynarodowej, zwłaszcza w basenie Morza Śródziemnego. Możliwości są ogromne, a czas zwrotu inwestycji korzystniejszy w stosunku do wzrostu cen energii. Tego rodzaju polityka wdrażana szybko i systematycznie prezentuje głównie korzyści, co jest cenne zwłaszcza w okresie trudności ekonomicznych i społecznych kwestii związanych z globalnym kryzysem:

- ożywienie działalności i wzrost zatrudnienia we wszystkich regionach, zwłaszcza w programach renowacji oraz ocieplania budynków i w rozwoju transportu publicznego.
- wymierne rezultaty w zakresie życia gospodarczego i społecznego w krótkim okresie.

W porównaniu z tą strategią wprowadzenie energetyki jądrowej w Polsce nie wydaje się być szczególnie atrakcyjne. Podczas gdy energia jądrowa rozwinęła się w kraju takim jak Francja w drugiej połowie XX w. przy znacznym i ciągłym wsparciu państwa, to w Polsce w warunkach obecnej gospodarki rynkowej trudno przewidzieć jej koszty, które z pewnością będą dużo wyższe niż obecnie przewidują jej zwolennicy.

Skutki takiego ambitnego programu (25% produkcji energii elektrycznej do 2025 roku) byłyby bardzo mierne w zakresie bezpieczeństwa energetycznego oraz w kwestii redukcji emisji gazów cieplarnianych, zaś program taki przyczyniłby się jedynie do 4,5% końcowego zużycia energii w kraju, w przypadku opcji inwestycji w same elektrownie jądrowe przy kosztach szacowanych obecnie na poziomie 27 mld euro.

Ponadto korzyści wynikające z redukcji emisji gazów cieplarnianych byłyby stosunkowo niewielkie i dalekie od kompensowania ryzyka, jakie niesie program nuklearny, nawet w ograniczonym zakresie.

Wreszcie realizacja tego programu wymaga bardzo długiego czasu wprowadzenia i pierwsze wyniki, jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, będą odczuwalne nie wcześniej niż za dziesięć lat. Natomiast program efektywności energetycznej i rozwój odnawialnych źródeł energii może zostać uruchomiony bardzo szybko i przynieść rezultaty w najbliższych latach.

²¹ W tej kwestii poleca się przeczytać sprawozdanie francuskiego premiera Claude’a Mandila: "Bezpieczeństwo energetyczne i Unia Europejska" ("Sécurité énergétique et Union Européenne") z kwietnia 2008.

Załącznik 1.

Bilans energetyczny i elektryczny Polski (2007)

2007 Jednostka : Mtoe	Paliwa stałe	Ropa naftowa	Produkty naftowe	Gaz	Energia wodna, atomowa	Elektry- czność	Ciepło	Biomasa	OGÓŁEM
PRODUKCJA ENERGII PIERWOTNEJ	62,78	1,51	0	3,86	0,28	0	0,01	5,35	73,79
Import	4,12	22,15	7,8	8,29	0	0,67	0	0	43,04
Export	-11,76	-0,25	-3,41	-0,04	0	-1,13	0	-0,05	-16,64
Bunkry morskie	0	0	-0,33	0	0	0	0	0	-0,33
Zmiany zapasów	-0,04	-1,42	-0,83	0,22	0	0	0	0	-2,07
ZUŻYCIĘ PIERWOTNE	55,11	21,98	3,23	12,33	0,28	-0,45	0,01	5,3	97,78
Rafinerie	0	-22,81	21,3	0	0	0	0	0	-1,51
Elektrownie	-38,17	0	-0,58	-1,02	-0,28	13,69	7,93	-1,27	-19,7
Własny użytek, straty na przesyśle	-6,83	0,82	-1,16	-1,42	0	-4,18	-1,21	-0,05	-14,02
ZUŻYCIĘ KOŃCOWA	10,1	0	22,79	9,89	0	9,06	6,73	3,98	62,55
Przemysł	5,68	0	1,84	2,79	0	3,79	1,77	1,03	16,9
Transport	0	0	13,24	0	0	0,36	0	0,04	13,64
Gospodarstwa domowe i usługi	4,34	0	5,13	5,08	0	4,91	4,96	2,9	27,32
Brak wykorzystania energetycznego	0,09	0	2,58	2,02	0	0	0	0	4,69

źródło: ENERDATA

Bilans energetyczny – Polska (2007)	TWh
PRODUKCJA BRUTTO, w tym	159,19
Wodna, w tym	3,26
szczyt. pompowa	0,59
Geotermia	0
Energia jądrowa	0
Wiatr	0,53
Ciepna, w tym	155,39
z węgla	145,03
z ropy	2,58
z gazu	3,4
z biomasy	4,39
IMPORT	7,83
EXPORT	-13,11
Zużycie brutto	153,9
Zużycie własne (-)	13,58
Zużycie netto	145,07
Pobór pomp (-)	0,64
Konsumpcja netto	139,14
Straty przesyłowe / dystrybucji	-15,94
ZUŻYCIE OGÓŁEM	123,2
Zużycie sektora energetycznego	17,86
ZUŻYCIE KOŃCOWE	105,34
Przemysł	44,04
Transport	4,22
Gospodarstwa domowe i usługi	57,09

źródło: ENERDATA

Załącznik 2.

Bilans energetyczny i produkcji energii elektrycznej dla UE-15 (2007)

2007 Jednostka : Mtoe	Paliwa stałe	Ropa naftowa	Produkty naftowe	Gaz	Energia wodna, atomowa	Elektry- czność	Ciepło	Biomasa	OGÓŁEM
PRODUKCJA ENERGII PIERWOTNEJ	84,32	115,98	0	152,13	256,93	0	1,48	76,54	687,39
Import	135,71	585,37	256,93	285,65	0	20,88	0	2,93	1287,48
Export	-8,39	-75,03	-249,61	-68,11	0	-17,75	0	-0,55	-419,44
Bunkry morskie	0	0	-52,56	0	0	0	0	0	-52,56
Zmiany zapasów	5,3	1,19	-4,1	7,82	0	0	0	0	10,21
ZUŻYCIĘ PIERWOTNE	216,94	627,52	-49,34	377,5	256,93	3,12	1,48	78,92	1513,07
Rafinerie	0	-672,18	669,63	0	0	0	0	0	-2,54
Elektrownie	-170,47	0	-23,64	-122,95	-256,93	248,85	38,74	-29,41	-315,82
Własny użytek, straty na przesyśle	-9,19	44,67	-72,72	-15,64	0	-37,9	16,25	-3,09	-77,61
ZUŻYCIĘ KOŃCOWA	37,27	0	523,95	238,9	0	214,08	56,48	46,41	1117,09
Przemysł	33,97	0	39,84	85,09	0	86,95	13,51	15,5	274,85
Transport	0	0	323,05	0,47	0	5,56	0	6,58	335,66
Gospodarstwa domowe i usługi	2,69	0	79,81	143,95	0	121,57	42,97	24,33	415,32
Brak wykorzystania energetycznego	0,62	0	81,25	9,4	0	0	0	0	91,27

źródło: ENERDATA

Bilans energetyczny UE-15. (2007)	TWh
PRODUKCJA BRUTTO, w tym	2893,63
Wodna, w tym	305,44
szczyt. pompowa	31,41
Geotermia	5,65
Energia jądrowa	839,53
Wiatr	102,42
Ciepna, w tym	1629,98
z węgla	747,49
z ropy	103,9
z gazu	682,75
z biomasy	95,18
IMPORT	242,77
EXPORT	-206,44
Zużycie brutto	2929,96
Zużycie własne (-)	139,78
Zużycie netto	2756,53
Pobór pomp (-)	43,94
Konsumpcja netto	2748,92
Straty przesyłowe / dystrybucji	-174,52
ZUŻYCIE OGÓŁEM	2574,29
Zużycie sektora energetycznego	85,09
ZUŻYCIE KOŃCOWE	2489,31
Przemysł	1011,03
Transport	64,67
Gospodarstwa domowe i usługi	1413,62

źródło: ENTERDATA

Załącznik 3.

Bilans energetyczny i elektryczny dla Francji (2007)

2007 Jednostka : Mtoe	Paliwa stałe	Ropa naftowa	Produkty naftowe	Gaz	Energia wodna, atomowa	Elektry- czność	Ciepło	Biomasa	OGÓŁEM
PRODUKCJA ENERGII PIERWOTNEJ	0,24	1,01	0	0,86	120	0	0,17	12,67	134,94
Import	12,83	80,72	36,58	37,98	0	0,93	0	0,32	169,36
Export	-0,68	-0,08	-27,58	-0,87	0	-5,81	0	-0,01	-35,03
Bunkry morskie	0	0	-2,64	0	0	0	0	0	-2,64
Zmiany zapasów	0,82	0,24	1,58	0,53	0	0	0	0	3,17
ZUŻYCIĘ PIERWOTNE	13,21	81,9	7,93	38,5	120	-4,89	0,17	12,99	269,8
Rafinerie	0	-87,21	88,54	0	0	0	0	0	1,32
Elektrownie	-6,5	0	-2,23	-5,69	-120	49,01	3,85	-1,6	-83,16
Własny użytek, straty na przesyśle	-0,52	5,32	-8,71	-0,95	0	-7,23	0,14	-0,24	-12,19
ZUŻYCIĘ KOŃCOWA	6,19	0	85,53	31,87	0	36,89	4,15	11,14	175,78
Przemysł	5,84	0	4	9,33	0	11,87	0	1,69	32,73
Transport	0	0	50,8	0,07	0	1,07	0	1,45	53,38
Gospodarstwa domowe i usługi	0,35	0	15,21	20,65	0	23,95	4,15	8,01	72,33
Brak wykorzystania energetycznego	0	0	15,52	1,82	0	0	0	0	17,34

źródło: ENTERDATA

Bilans energetyczny UE-15. (2007)	TWh
PRODUKCJA BRUTTO, w tym	569,84
Wodna, w tym	63,66
szczyt. pompowa	5,48
Geotermia	0
Energia jądrowa	439,73
Wiatr	4,05
Ciepna, w tym	61,86
z węgla	27,72
z ropy	6,14
z gazu	22,67
z biomasy	5,33
IMPORT	10,78
EXPORT	-67,6
Zużycie brutto	513,03
Zużycie własne (-)	25
Zużycie netto	488,03
Pobór pomp (-)	7,73
Konsumpcja netto	480,3
Straty przesyłowe / dystrybucji	-32,36
ZUŻYCIE OGÓŁEM	447,94
Zużycie sektora energetycznego	18,96
ZUŻYCIE KOŃCOWE	428,98
Przemysł	138,06
Transport	12,4
Gospodarstwa domowe i usługi	278,51

źródło: ENERDATA