



Prof. dr hab. inż. Jacek Marecki, dr Tadeusz Wójcik
Politechnika Gdańska Państwowa Agencja Atomistyki

Ekologiczne aspekty wytwarzania energii elektrycznej (wnioski konferencji SEP z listopada 2001 r.)

Międzynarodowa konferencja na temat ekologicznych aspektów wytwarzania energii elektrycznej została zorganizowana przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Komitet Problemów Energetyki PAN oraz Instytut Energetyki. Obrady toczyły się w sześciu sesjach.

SESJA 1: Światowe tendencje rozwoju elektroenergetyki oraz perspektywy tego rozwoju w Polsce

Przewiduje się w dłuższej perspektywie znaczne tempo wzrostu światowego zapotrzebowania na energię elektryczną, a więc rosnące uzależnienie ludzkiej działalności od nieprzerwanego zasilania w energię [1]. Istnieją natomiast ogromne różnice w poziomie zużycia energii elektrycznej pomiędzy różnymi regionami świata. W tabeli 1 przedstawiono zużycie energii elektrycznej na świecie w 1998 r. według danych Światowej Rady Energetycznej (World Energy Council) w podziale na trzy grupy krajów: należących do OECD, znajdujących się w okresie transformacji ustrojowej oraz rozwijających się.

Tabela 1

Zużycie energii elektrycznej na świecie w 1998 r. wg [1]

Grupa krajów	Ludność		Zużycie energii	
	mld	%	tys.TWh	%
Kraje OECD	1,10	19	8,5	65
Kraje w okresie transformacji	0,35	6	1,2	9
Kraje rozwijające się	4,39	75	3,4	26
Razem na świecie	5,84	100	13,1	100

Tabela 2

Prognoza zużycia energii elektrycznej na świecie do 2050 r. wg [1]

Grupa krajów	2020		2050	
	tys.TWh	%	tys.TWh	%
Kraje OECD	11,9	55	18,0	44
Kraje w okresie transformacji	2,9	14	5,8	14
Kraje rozwijające się	6,7	31	17,2	42
Razem na świecie	21,5	100	41,0	100

Jak widać, w krajach OECD, w których w roku 1998 mieszkało około 1/5 ludności świata, zużyto prawie 2/3 energii elektrycznej. Rozpiętość ta jest jeszcze większa, jeśli porówna się średnie roczne zużycie energii elektrycznej na jednego mieszkańca. W krajach OECD zużycie to wynosiło w roku 1998 7730 kWh/c, a w krajach rozwijających się było około 10 razy mniejsze i wynosiło średnio 775 kWh/c, przy czym w wielu krajach Afryki zużycie to było mniejsze niż 100 kWh/c.

W tabeli 2 podano prognozę zużycia energii elektrycznej na świecie do 2050 r. Przewiduje się w tym okresie około trzykrotny wzrost światowego zużycia energii, to jest średnio 2,2% rocznie. Należy zwrócić uwagę, że także w krajach OECD wzrost ten jest względnie wysoki i ma wynieść w tym okresie ok. 1,5% rocznie, co jest w znacznym stopniu wynikiem wzrostu udziału energii elektrycznej w ogólnym zużyciu energii.

Oceny Światowej Rady Energetycznej z roku 1996 wskazują, że przy rocznym wydobyciu paliw w tym roku (R) i znanych ich zasobach (Z) wskaźnik wystarczalności zasobów (Z/R) wynosi dla węgla brunatnego ok. 250 lat, dla węgla kamiennego ok. 200 lat, dla gazu 66 lat, a dla ropy 43 lata. Dla paliw jądrowych wskaźnik ten wynosi ok. 90 lat, ale w przypadku użytkowania uboższych rud uranu oraz przerobu paliwa wypalonego wartość energetyczna światowych zasobów uranu przekroczyłaby dwukrotnie łączną wartość energetyczną wszystkich paliw kopalnych. Przewidywane potrojenie światowego zużycia energii elektrycznej w perspektywie ok. 50 lat, tendencja wzrostu cen paliw węglowodorowych, konieczność rezerwowania niektórych nośników energii dla wybranych dziedzin (np. paliw ciekłych i gazu do transportu lotniczego, wodnego i drogowego oraz do procesów chemicznych), pojawianie się nowych potrzeb (np. odsalania wody morskiej) oraz zaostrzanie wymagań ekologicznych będą powodowały wzrastającą konieczność sięgania do odnawialnych źródeł energii oraz do energii jądrowej.

Intensywność rozwoju elektroenergetyki w Polsce w ostatniej dekadzie XX wieku uległa spowolnieniu, podobnie jak i w innych krajach naszego regionu [2]. W latach 1950–1970 średnie roczne tempo wzrostu produkcji energii elektrycznej wynosiło 10%, w latach 1970–

–1990 3,8%, a w latach 1990–1999 tylko 0,5%. Średnia ilość wytworzonej energii elektrycznej na mieszkańca Polski w roku 1999 wynosiła 3660 kWh.

W prognozach dla lat 2000–2020, dokonanych z zasady wariantowo, przy różnej stopie wzrostu produktu krajowego brutto (PKB), zakładano roczne tempo wzrostu produkcji energii elektrycznej w granicach 1,0–3,5%. W przedstawionej na konferencji autorskiej prognozie J. Mareckiego [2] średnie roczne tempo wzrostu produkcji energii elektrycznej w okresie 2000–2020 wynosi 2,2–2,9% (wariant niski i wysoki), co odpowiada produkcji na mieszkańca w roku 2020 od 5600 do 6400 kWh. Stanowi to 72–82% poziomu krajów UE w roku 1998.

Warunki ekonomiczne powodują, że w rozważanej perspektywie, w odróżnieniu od krajów UE, ilość energii elektrycznej wytwarzanej z węgla kamiennego i brunatnego pozostaje w obydwu rozważanych wariantach na poziomie zbliżonym do występującego w roku 2000. Procentowy udział węgla kamiennego i brunatnego w produkcji energii elektrycznej maleje z 61 i 36% w roku 2000 do 43 i 25% w wariantcie niskim oraz 35 i 22% w wariantcie wysokim w roku 2020.

Mimo zakładanego istotnego wzrostu produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, wynoszącego ok. 5–7% rocznie, ich udział w łącznej produkcji energii nie przekroczy 6% w roku 2020. W konsekwencji znacznie wzrośnie udział importowanego gazu, z 2 TWh w roku 2000 (1,5%) do 60 TWh (27%) w roku 2020 w wariantcie niskim oraz do 75 TWh (29%) w wariantcie wysokim, przy założeniu, że w tym wariantcie pojawi się w roku 2020 energetyka jądrowa z udziałem w produkcji energii elektrycznej wynoszącym 8% (20 TWh). Udział gazu dochodzi więc do poziomu, przy którym pojawiają się pytania o bezpieczeństwo energetyczne kraju. Problem obciążenia bilansu płatniczego kraju z tytułu importu tak wielkiej ilości gazu nie był rozpatrywany na konferencji.

SESJA 2: Zobowiązania w zakresie ochrony środowiska dotyczące energetyki węglowej, gazowej i jądrowej oraz odnawialnych źródeł energii

Dokonano przeglądu stanu międzynarodowych instrumentów prawnych, dotyczących również Polski w zakresie ograniczania emisji.

Ograniczanie emisji gazów cieplarnianych

Ramowa konwencja ONZ w sprawie zmian klimatu przyjęta na konferencji w Rio de Janeiro w roku 1992 zapoczątkowała międzynarodowe działania zmierzające do zahamowania wzrostu koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze poprzez redukcję ich emisji, początkowo w okresie do roku 2012 [3]. Protokół przyjęty w Kioto w roku 1997 oraz porozumienie osiągnięte w Marakeszu w roku 2001 ustaliły zobowiązanie Polski

do obniżenia do roku 2012 emisji gazów cieplarnianych o 6% w stosunku do roku 1988. Zobowiązania krajów członków UE ustalono na poziomie 8% w stosunku do roku 2000. Oczekuje się, że w ciągu roku Polska ratyfikuje protokół z Kioto.

W sektorze produkcji energii elektrycznej i ciepła, którego udział w ogólnej emisji CO₂, głównego gazu cieplarnianego, wynosi ok. 55%, emisja ta obniżyła się w roku 1999 w stosunku do poziomu z roku 1988 o ok. 30%, głównie w wyniku zmniejszenia produkcji przemysłu ciężkiego o wysokiej energochłonności. Ze względu na obecny wysoki udział węgla i ropy w ogólnym zużyciu energii pierwotnej aspekt konieczności obniżania emisji dwutlenku węgla musi pozostawać w centrum uwagi polityki energetycznej Polski. Postanowienia konferencji w Marakeszu zobowiązują bowiem rządy sygnatariuszy protokołu z Kioto do rocznego raportowania o poziomie emisji gazów cieplarnianych oraz do informowania co trzy lata o działaniach rządu podejmowanych w celu ograniczania tej emisji.

Głównymi kierunkami działań prowadzących do redukcji emisji CO₂ będzie nadal podwyższanie efektywności wykorzystywania paliw, między innymi przez rozwijanie produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu oraz wprowadzanie do bilansu paliw o znacznie mniejszej niż węgiel lub zerowej zawartości CO₂ (gazu, odnawialnych źródeł energii oraz energii jądrowej).

Prowadzone są nadal badania nad innymi, poza działalnością człowieka, czynnikami wpływającymi na zmiany klimatyczne, które od tysięcy lat występowały cyklicznie. Ponieważ jednak zmiany średniej temperatury atmosferycznej w ciągu tysięcy lat występowały współbieżnie ze zmianami w poziomie koncentracji w atmosferze głównych gazów cieplarnianych, w tym CO₂, zasada przezorności dyktuje działania w kierunku ograniczania emisji tych gazów.

Ograniczanie emisji związków siarki, tlenków azotu, metali ciężkich i substancji zakwaszających środowisko

Przedstawione zostały najważniejsze konwencje lub porozumienia międzynarodowe, do których Polska przystąpiła w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat [4], a mianowicie:

- Traktat Europejskiej Karty Energetycznej z grudnia 1994 roku wraz z protokołem dotyczącym efektywności energetycznej i aspektów ochrony środowiska,
- Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (Konwencja Genewska) z listopada 1979 roku,
- związane z Konwencją protokoły w sprawie:
 - długofalowego finansowania wspólnego programu monitorowania i oceny transgranicznych zanieczyszczeń w Europie,

- ograniczania emisji siarki i jej przepływów,
- kontroli emisji lub transgranicznego przemieszczania tlenków azotu,
- kontroli emisji lub transgranicznego przemieszczania lotnych związków organicznych,
- dalszego ograniczania emisji siarki (II Protokół Siatkowy), metali ciężkich (kadmu, ołowiu i rtęci) oraz pyłów,
- przeciwdziałania zakwaszeniu i nadmiernemu gromadzeniu substancji pokarmowych i ozonu przyziemnego.

Polska podpisała powyższe dokumenty i ratyfikowała niektóre z nich. Część redukcji emisji określonych w powyższych zobowiązaniach dotyczących okresu do roku 2010 została osiągnięta w całości, a w zakresie emisji związków siarki, azotu oraz pyłów – jedynie w części.

W ramach swej działalności w zakresie ochrony środowiska Unia Europejska opracowała zestaw dyrektyw oraz sformułowała limity dla państw odnośnie do emisji do środowiska określonych zanieczyszczeń [6]. Osiągnięcie tych limitów powinno przynieść w okresie do roku 2010 poważne obniżenie w stosunku do poziomu z roku 1990 całkowitych europejskich emisji tlenków siarki o 64%, tlenków azotu o 42% oraz lotnych związków organicznych o 42%. Wprowadzono wyższe wymagania w omawianym zakresie dla krajów członków UE oraz nieco niższe dla krajów kandydujących.

Dla Polski wymagania obniżenia emisji w tym dziesięcioleciu wynoszą 53% dla tlenków siarki i 40% dla tlenków azotu. W skali całej Europy osiągnięcie tych zamierzeń ma kosztować ok. 74 mld euro, w tym w Polsce ok. 4 mld euro. Znaczna część tych kosztów byłaby poniesiona niezależnie od naszego przystąpienia do UE.

Prowadzone są prace nad strategią redukcji drobnych pyłów o średnicy poniżej 2,5 mikronów nie objętych dotychczas ograniczeniami. Badania wykazały, że wywołują one choroby układu oddechowego i układu krążenia, które prowadzą do przedwczesnych zgonów ludzi.

W dyskusji podkreślono konieczność zintegrowania polityk sektorowych z globalną polityką ochrony środowiska oraz opracowania długoterminowej polityki ochrony środowiska jako części strategii zrównoważonego rozwoju.

Ograniczanie emisji substancji promieniotwórczych

Nowy, nieznanym ludzkości aż do ostatniego okresu rodzaj zagrożenia dla zdrowia, płynącego z emisji substancji promieniotwórczych i wysoki poziom obaw społecznych przed tym zagrożeniem spowodował powstanie odmiennego systemu ochrony w tym zakresie [5]. Trzy międzynarodowe instytucje odgrywają wiodącą rolę w ogólnym systemie ochrony przed promieniowaniem:

- ◆ Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) jako pozarządowy zespół ekspertów, utworzony w latach 1920., ustala zalecenia w zakresie dopuszczalnych

dla człowieka dawek promieniowania jądrowego; jej zalecenia są powszechnie przyjmowane za podstawę krajowych i międzynarodowych uregulowań szczegółowych, co powoduje jednolitość w skali świata w zakresie tego podstawowego elementu tych uregulowań;

- ◆ Naukowy Komitet ds. Oceny Skutków Promieniowania Jądrowego (UNSCEAR), utworzony przez ONZ w roku 1955 w celu dokonywania okresowych ocen poziomu promieniowania płynącego ze wszystkich naturalnych i tworzonych przez człowieka źródeł oraz oceny skutków i zagrożeń związanych z tym promieniowaniem;
- ◆ Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA), utworzona w roku 1957, między innymi w celu opracowywania, we współpracy z innymi organizacjami międzynarodowymi, norm bezpieczeństwa jądrowego i ochrony przed promieniowaniem.

Normy bezpieczeństwa jądrowego i radiacyjnego, opracowywane przez IAEA, są więc normami pochodnymi od ustalonego przez ICRP limitu dawki promieniowania pochodzącego z jednego źródła w wysokości 1 milisiwerta w ciągu roku (1 mSv). Dawki promieniowania w środowisku człowieka w Polsce, powodowane przez źródła naturalne, są oceniane na 2,4 mSv/rok. W niektórych rejonach świata dawki te są znacznie wyższe.

Powstający stopniowo międzynarodowy system ochrony przed promieniowaniem obejmuje obecnie:

- cztery prawnie wiążące konwencje międzynarodowe,
- ponad 200 międzynarodowo uzgodnionych norm bezpieczeństwa dotyczących różnych dziedzin wykorzystania energii jądrowej,
- komentarze i objaśnienia do opracowanych norm bezpieczeństwa,
- pomoc techniczną, udzielaną różnym krajom przy wprowadzaniu w życie międzynarodowo uzgodnionych norm bezpieczeństwa.

SESJA 3: Technologie wytwarzania energii elektrycznej w powiązaniu z ochroną środowiska

Dokonano przeglądu technicznych aspektów wytwarzania energii elektrycznej, odnoszących się do oddziaływania na środowisko przez elektrownie węglowe, gazowe, wykorzystujące odnawialne źródła energii oraz elektrownie jądrowe. W elektrowniach węglowych energetyka zawodowa znacząco obniżyła emisję popiołów lotnych (ok. 10 razy), SO₂ i NO_x (2 razy) zarówno w wyniku wzrostu jakości spalania węgla, jak i szerokiego wdrożenia nowych technologii związanych z ograniczaniem emisji [7]. W nowych elektrowniach poziom techniczny odnoszący się do ochrony środowiska jest zbliżony do poziomu występującego w krajach UE, jednak średnia wszystkich eksploatowanych elektrowni jest wciąż wyższa. Kosztowna jest eksploatacja i późniejsza rekultywacja składowisk odpadów paleniskowych. W roku 1999 ze spalania około 100 mln ton węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach powstało około 14 mln ton popiołów stałych, lotnych i żużli.

Zaostrzenie wymagań ochrony środowiska oraz ograniczenie emisji CO₂ uzasadnia prowadzone na świecie prace nad wysokosprawnymi i czystszyimi technologiami spalania węgla. Dokonano przeglądu tych technologii charakteryzujących się, między innymi, wysoką sprawnością cieplną, sięgającą blisko 45%. Podwyższanie sprawności powoduje jednak wzrost nakładów inwestycyjnych instalacji, a koszty produkcji energii przy zastosowaniu tych nowoczesnych technologii są zbliżone do kosztów technologii konwencjonalnych. Przedstawiono informacje o brytyjskich koncepcjach separacji dwutlenku węgla powstającego ze spalania w kotłach elektrownianych. Ocena ekonomiki tych koncepcji wykazała, że ich zastosowanie może spowodować wzrost kosztów produkcji energii elektrycznej o 60–65%.

W zakresie wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach gazowych dokonano analizy aspektów ekonomicznych i ekologicznych siłowni o średniej i małej mocy (160–800 kW) [8] oraz małych rozproszonych siłowni, głównie elektrociepłowni wyposażonych w turbiny gazowe albo silniki tłokowe o mocy od kilku do kilkuset kW. Gaz zawierający znacznie mniej zanieczyszczeń niż węgiel i ropa powoduje w spalaniu pomijalnie małe emisje SO₂ i pyłu oraz mniejszą niż w przypadku spalania węgla emisję NO_x. Jeżeli jednak uwzględnić emisje występujące w całym cyklu (wydobycie, oczyszczanie i transport), to wzrastają one znacznie w porównaniu z etapem spalania. Mierzone w jednostkach monetarnych koszty wpływu środowiskowego (koszty zewnętrzne) cyklu gazowego są 2–4-krotnie niższe niż w cyklu węglowym. Oceniono, że gaz ziemny powinien być preferowanym paliwem dla elektrociepłowni zlokalizowanych w miastach, szczególnie tam, gdzie siłownie takie wyeliminują tzw. niskie emisje, bardzo szkodliwe dla zdrowia mieszkańców.

Celowość rozwijania małych, rozproszonych siłowni motywowana jest dążeniem do zmniejszenia strat przesyłu energii elektrycznej i podnoszenia sprawności konwersji energii, głównie w wyniku skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła [9]. Jednostkowe nakłady inwestycyjne dla tych instalacji są wysokie ze względu na ich niewielką moc zainstalowaną. Przy istniejących cenach gazu sieciowego upowszechnienie takich instalacji nie nastąpi bez stworzenia mechanizmów dofinansowania (np. dotacji inwestycyjnych, zwolnienia z podatków). Przy zaistnieniu takiego wsparcia łączna moc zainstalowana elektrowni rozproszonych w Polsce może osiągnąć poziom 2500–6000 MW.

Dokonany przegląd [11] przewidywał wzrostu na świecie w okresie 1995–2010 łącznej mocy zainstalowanej w elektrowniach wykorzystujących odnawialne źródła energii wskazuje na przewidywany 6-krotny wzrost energii wiatrowej, 20-krotny wzrost z instalacji fotowoltaicznych oraz 2-krotny wzrost energii z biomasy i małych elektrowni wodnych. Nieco wyższe wskaźniki wzrostu występują w przewidywaniach UE dla tego samego okresu; w zakresie energii wiatru przewiduje się wzrost 16-krotny, a dla biomasy wzrost 3-krotny. W dłuższej perspekty-

wie oczekuje się szerokiego rozwoju ogniw paliwowych przy wykorzystaniu wodoru.

Ocenia się, że w obecnych warunkach gospodarki rynkowej w Polsce i liberalizacji sektora energii osiągnięcie znacznie szerszego udziału energii odnawialnej nie będzie możliwe bez wprowadzenia narzędzi wspomagania finansowego. Należy też brać pod uwagę, że niski poziom dyspozycyjności niektórych odnawialnych źródeł energii (energia słoneczna ok. 25%, energia wiatrowa 15–30%) wymaga posiadania rezerwy w systemie elektroenergetycznym dla dostaw energii w „martwych okresach” instalacji wiatrowych czy słonecznych.

Bardzo istotnym problemem przy rozważaniu finansowego wspomaganie przez państwo rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest określenie stopnia, w jakim wspomaganie to jest ekonomicznie uzasadnione. Bardzo cennym narzędziem w określaniu tego stopnia może być znajomość kosztów zewnętrznych dostępnych w Polsce źródeł energii, z którymi konkurować mogą odnawialne źródła jako bardziej przyjazne środowisku, a tym samym zasługujące na subsydiowanie. Unia Europejska, ogłaszając wyniki dziesięcioletnich prac nad kosztami zewnętrznymi, sformułowała taką propozycję. Uwzględniając, że koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej w elektrowniach węglowych wahają się w granicach 2–8 centów euro/kWh uznano, że finansowe wspieranie odnawialnych źródeł energii nie powinno przekroczyć limitu 5 c euro/kWh.

W referacie dotyczącym jądrowego cyklu paliwowego [10] przedstawiono oceny wysokości jego kosztów zewnętrznych oparte na doświadczeniu francuskiego przemysłu jądrowego oraz oceny wysokości kosztów zewnętrznych innych opcji elektroenergetycznych, wzięte z zakończonego studium ExternE. W miarę przedłużania się okresu gromadzenia doświadczeń eksploatacyjnych zakładów jądrowego cyklu paliwowego i w wyniku osiągniętej poprawy technologii ma miejsce postęp w ograniczaniu emisji substancji promieniotwórczych oraz w poprawności określania wielkości tych emisji i ich szkodliwości. Oceny z roku 1998 wykazały, że średnia wysokość dawki otrzymywanej przez pracowników i ludność w rejonie otaczającym kopalnie rud uranu i zakłady oczyszczania rud, oceniona przez UNSCEAR w roku 1993, była zawyżona i jest obecnie od 100 do 150 razy mniejsza. Opublikowane w 2001 roku przez Komisję Europejską oceny kosztów zewnętrznych w całym cyklu paliwowym różnych opcji energetycznych wykazały, że energetyka jądrowa ustępuje pod względem ich wysokości jedynie energii słońca i wiatru.

SESJA 4: *Analiza porównawcza wpływu zdrowotnego i środowiskowego wytwarzania energii elektrycznej*

Głównym celem sesji była ocena wpływu wytwarzania energii elektrycznej na zdrowie człowieka i środowisko oraz analiza porównawcza różnych źródeł energii [14]. Biorąc pod uwagę, że węgiel ma prawie monopolistyczną pozycję w polskim bilansie elektroenergetycznym oraz że obawy

Odpady wytwarzane w ciągu roku w elektrowni o mocy 1000 MW wg [12]

Elektrownia węglowa		Elektrownia jądrowa	
Odpady lotne i paleniskowe	200–600 tys. t	odpady łączne po przerobieniu paliwa wypalonego:	
Odpady z mokrego odsiarczania spalin	100–300 tys. t	nisko- i średnioaktywne	100–600 m ³
Inne odpady	ok. 100 tys. t	wysokoaktywne	ok. 30 m ³

społeczne dotyczące potencjalnych skutków awarii oraz skutków gromadzenia odpadów dominują w społecznej ocenie zagrożeń związanych z energetyką jądrową, dokonano również oceny tych dwóch problemów w cyklu jądrowym i węglowym [12, 13].

W tabeli 3 podano zestawienie ilości odpadów wytwarzanych w ciągu roku w elektrowni o mocy 1000 MW. Wysoka koncentracja energii w paliwie jądrowym powoduje, że objętość generowanych odpadów w cyklu jądrowym jest około 1000 razy mniejsza niż w cyklu węglowym [12].

W ciągu ostatnich dziesięciu lat dokonano w USA wielkiego postępu w zagęszczaniu odpadów nisko- i średnioaktywnych (ok. 300 razy). W ok. 30 krajach istnieją różnego rodzaju składowiska tych odpadów (podziemne blisko powierzchniowe, wyrobiska górnicze, w głębszych pokładach geologicznych) stosujące kilka barier oddzielających materiał odpadów od środowiska naturalnego. Paliwo wypalone i inne odpady wysokoaktywne mogą być składowane w odpowiednich pokładach geologicznych na głębokości kilkuset metrów, tak aby zapewnić skuteczną separację odpadów od środowiska naturalnego.

Odpady z elektrowni węglowych są częściowo wykorzystywane (materiały budowlane, nasypy dróg, niwelacja terenu, wypełnianie wyrobisk). Ocenia się jednak, że około 450 mln ton odpadów generowanych rocznie na świecie pozostaje nie wykorzystanych. Poza zajmowaniem znacznego terenu odpady te stanowią potencjalne zagrożenie dla otaczającego środowiska z tytułu pylenia wtórnego, przedostawania się do łańcucha biologicznego toksycznych metali (kadmu, cyrkonu, niklu i ołowiu), których toksyczność nie maleje z upływem czasu. Dodatkowym źródłem zagrożeń jest zawartość w popiołach substancji promieniotwórczych. W niektórych składowiskach dawki promieniowania są bliskie lub przekraczają 1 mSv/rok, są więc na poziomie ustalonego przez ICRP limitu dawki. W takim przypadku powinny zostać zastosowane procedury obowiązujące przy składowaniu niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych.

W Szwajcarii prowadzi się zaawansowane studia [13] nad ryzykiem poważnych awarii. W ramach tych studiów zgromadzono bazę danych obejmującą około 14 000 zaistniałych awarii, z tego 30% w dziedzinie wykorzystania energii. W około 620 awariach zaliczonych do kategorii poważnych awarii w dziedzinie energii liczba zgonów w przeliczeniu na 1000 MW i rok wynosiła:

- w cyklu węglowym 0,340,
- w cyklu wykorzystania ropy 0,420,
- w cyklu gazowym (gaz ziemny) 0,085,
- w cyklu jądrowym 0,008,
- w elektrowniach wodnych 0,880.

Analizą objęto także dane o poniesionych szkodach na zdrowiu, o liczbie osób ewakuowanych oraz o wysokości strat ekonomicznych w wyniku poważnych awarii. W zakresie tych dwóch ostatnich aspektów energetyka jądrowa wykazuje najwyższe wartości, na co decydujący wpływ mają wskaźniki skutków awarii w elektrowniach TMI (1979) oraz w Czarnobylu (1986). Uogólnianie wniosków płynących z tej ostatniej awarii budzi jednak poważne zastrzeżenia ze względu na wyjątkową technologię i okoliczności zaistnienia awarii.

Drugim źródłem ocen prawdopodobieństwa i potencjalnych skutków awarii są oceny prawdopodobnego bezpieczeństwa (Probabilistic Safety Assessment-PSA). Referat [13] nawiązuje do tych studiów przeprowadzonych dla trzech konkretnych elektrowni jądrowych, jednej w Szwajcarii i dwóch w USA, które wskazują, że liczba opóźnionych zgonów wyliczonych metodą PSA jest o kilka rzędów wielkości niższa od ocen opartych na ekstrapolacji danych z awarii w Czarnobylu.

Łączne koszty zewnętrzne, odpowiadające prawdopodobieństwu poważnych awarii oraz ich potencjalnym skutkom, oceniane są na poniżej 0,1 c USD/kWh, co stanowi mały udział w łącznych kosztach zewnętrznych elektrowni jądrowych. Przedział, w jakim ta wielkość się pojawia w różnych studiach, jest jednak szeroki. Występowanie większych wartości wywoływane bywa, między innymi, odczuciami wyrażającymi społeczne poczucie zagrożenia. Istnieje więc potrzeba dalszych prac i osiągnięcia porozumienia w tym zakresie.

Ogólnie biorąc, oceny dokonywane metodą PSA są ważne dla konkretnego obiektu o określonych parametrach i danych otaczającego środowiska. Ekstrapolacja wyników uzyskanych dla konkretnego obiektu wymaga wielkiej ostrożności.

W celu przygotowania referatu na temat porównawczych ocen wpływu wytwarzania energii elektrycznej na zdrowie człowieka i środowisko powołano zespół ekspertów z Instytutu Ochrony Środowiska, Instytutu Medycyny Pracy, Instytutu Energii Atomowej oraz Agencji Rynku Energii [14].

Wyniki dokonanych ocen w warunkach polskich wskazują na następujące łączne koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej, w milieuro/kWh:

■ <i>Elektrownia Opole</i>	27,1
■ elektrownia gazowa	11,6
■ elektrownia biomasowa	2,9
■ elektrownia wodna	1,3
■ elektrownia wiatrowa	1,31
■ elektrownia jądrowa	1,0

Ogłaszając wyniki dziesięcioletnich prac w ramach programu ExternE, Unia Europejska oceniła, że koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej stanowią 1–2% PKB w krajach Unii. Koszty te, oceniane dla elektrowni jądrowych w różnych krajach, mieszczą się w przedziale 2,0–7,0 milieuro/kWh przy średnim koszcie „wewnętrznym” jednej kWh wynoszącym około 40 milieuro/kWh.

SESJA 5: Zagadnienia ekonomiczne, dotyczące rozważanych opcji wytwarzania energii elektrycznej

W związku z decyzją rządu Szwecji o zamknięciu elektrowni jądrowej *Barsebaeck* dokonano oceny zmian w wielkości kosztów zewnętrznych, wywołanych zastąpieniem tej elektrowni innymi źródłami [15].

Średnie oceny szkód dla zdrowia w krajach UE – mierzone liczbą zgonów/TWh w całym cyklu paliwowym – wynoszą dla elektrowni:

● na węglu kamiennym	25
● na węglu brunatnym	20
● na ropie	35
● na gazie	4
● na paliwie jądrowym	1
● wodnych	1
● wiatrowych	2

Uważa się, że skutki zdrowotne dla ostatnich trzech rodzajów elektrowni są tak niskie, że mogą być w rozważaniach tego problemu zaniedbywane.

Dokonano porównania liczby szacowanych zgonów dla elektrowni *Barsebaeck* w przypadku poważnej awarii:

- ◆ przy częściowym działaniu urządzeń ograniczających emisję i prawdopodobieństwie awarii 1/100 000 reaktorolat: 100–500 zgonów w Europie w ciągu 50 lat (2–10 zgonów na rok),
- ◆ przy całkowitym zniszczeniu urządzeń ograniczających emisję i prawdopodobieństwie awarii 1/1000 000 reaktorolat: 2000–8000 zgonów w Europie w ciągu 50 lat (40–160 zgonów na rok),
- ◆ normalna eksploatacja elektrowni *Barsebaeck* może przynieść przy zastosowaniu metody ocen ExternE jeden zgon na rok wyniku choroby nowotworowej,
- ◆ normalna eksploatacja elektrowni opalanej węglem, mającej zastąpić elektrownię *Barsebaeck*, może przynieść przy zastosowaniu metody ocen ExternE 200 zgonów/rok.

Referat [15] zawiera analizę niepewności, jaką są obciążone powyższe obliczenia. Wiarygodność ocen rozprzestrzeniania się lotnych zanieczyszczeń w powietrzu oraz ich wpływu na zdrowie ludzi i na środowisko jest niezadowalająca. Niedostatki te dotyczą lotnych zanieczyszczeń i są podobnej natury odnośnie do różnych źródeł energii. Bardziej wiarygodne są zatem porównawcze relacje skutków zdrowotnych różnych źródeł energii niż ich wielkości bezwzględne.

Dokonano także oceny kosztów zewnętrznych wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni węglowej w przypadku zastosowania separacji i składowania CO₂. Wynoszą one ok. 1,6–4,4 c USD/kWh.

Przeprowadzona analiza mechanizmów prawno-finansowych, które mogą wpłynąć pozytywnie na ograniczanie szkodliwych emisji [16], wskazała na kilka kierunków proponowanych działań:

- podniesienie wiarygodności ocen kosztów zewnętrznych; jest to warunek konieczny do stosowania tych ocen jako instrumentu kształtowania polityki energetycznej, w tym także dla stosowania jednolitych zasad porównywania różnych technik i technologii produkcji energii elektrycznej; powinno to również ułatwić rzeczowe informowanie społeczeństwa o zaletach i wadach różnych rozwiązań;
- opracowanie koncepcji handlu emisjami w Polsce oraz – po jej uzgodnieniu – sformułowanie zasad prawnych tej praktyki; parlament Europejski zobowiązał Komisję Europejską do wdrożenia takiego systemu w krajach członkowskich do roku 2005; proponuje się opracowanie w Polsce w pierwszej kolejności zasad dotyczących handlu emisjami SO₂ i CO₂.

SESJA 6: Zrównoważony rozwój elektroenergetyki

Komisja ONZ ds. zrównoważonego rozwoju sformułowała w roku 1987 koncepcję tego rozwoju jako zaspokajającego obecne potrzeby ludzkości bez pozbawiania takiej możliwości przyszłych pokoleń. W praktycznym interpretowaniu tej definicji podkreśla się:

- racje równości społecznej obecnej generacji,
- racje równości międzypokoleniowej,
- racje poszanowania środowiska.

W referacie poświęconym ogólnym aspektom zrównoważonego rozwoju [17] podkreślono istnienie drastycznej nierówności międzyregionalnej (20% populacji konsumuje 80% zasobów) i położono nacisk na konieczność daleko idącej racjonalizacji, a w konsekwencji ograniczenia zużycia zasobów. W polityce energetycznej należy dążyć do dostosowania zużycia zasobów do ich ograniczoności oraz do dostosowania tego zużycia do wymagań minimalizacji ujemnego wpływu na środowisko naturalne. Podejście takie miałyby przynieść w Polsce znaczny wzrost do roku 2010 udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii, co mogłoby przynieść znaczną liczbę nowych miejsc pracy.

Podsumowanie

W ramach przedstawionej w referacie koncepcji przestrzeni ekologicznej, zakładającej wysoki wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii, nie przewiduje się rozwoju energetyki jądrowej ze względu na wysokie koszty produkcji energii elektrycznej oraz na „wiele nie rozwiązanych problemów bezpieczeństwa”.

Autor drugiego referatu w tej sesji [18] zwrócił uwagę na konieczność uwzględniania w podejściu do oszczędzania zasobów również zużycia materiałów nieenergetycznych oraz na znaczenie poprawnego i pełnego rachunku kosztów, uwzględniającego również koszty zewnętrzne. Taki rachunek kosztów może być uznany za bardzo użyteczny instrument porównawczej oceny różnych opcji energetycznych.

Dokonano oceny zużycia energii niezbędnej do zbudowania elektrowni i zakładów cyklu paliwowego, do zapewnienia dostaw paliwa oraz do gospodarowania odpadami i likwidacji zamortyzowanych elektrowni i zakładów cyklu paliwowego. Oceny te wykazały, że powyższe potrzeby energii pierwotnej mierzone w kWh, w przeliczeniu na jedną kWh wyprodukowaną w okresie życia elektrowni, wynoszą dla elektrowni:

- wodnych, wiatrowych i jądrowych 0,03–0,15 kWh
- węglowych i gazowych 0,16–0,30 kWh
- fotowoltaicznych 0,62–1,24 kWh

Tabela 4

Wskaźniki charakteryzujące różne rodzaje elektrowni wg [18]

Rodzaj elektrowni	Zużycie stali, kg/GWh	Zużycie miedzi, kg/GWh	Skrócenie życia, lata/TWh	Koszt energii, c euro/kWh
Węglowa: -na w. kamienny -na w. brunatny	1750–2310 2100–2170	2 7–8	60 85	2,5 2,5
Gazowa	1210	3	29	3
Jądrowa	420–490	6–7	10	2,4
Wiatrowa	3100–11 140	47–140	12	3
Wodna	1600–2700	5–14	8	3
Fotowoltaiczna	3600–24 350	210–510	55	32

W tabeli 4 zestawiono kilka dalszych parametrów mających związek z wymaganiami zrównoważonego rozwoju i charakteryzujących różne rodzaje elektrowni.

Gdyby dodać koszty zewnętrzne, to podane koszty wytwarzania energii elektrycznej należałoby zwiększyć o około 50% dla węgla kamiennego i brunatnego oraz o ok. 17% dla gazu, zwiększając tym samym konkurencyjność elektrowni jądrowych, wiatrowych i wodnych, w których koszty zewnętrzne, jak wykazał również referat polskich ekspertów [14], są znacznie niższe.

Tak więc w referacie [18] wykazano, że zarówno z punktu widzenia wysokości kosztów produkcji energii i kosztów zewnętrznych, jak i energochłonności i materiałochłonności elektrowni oraz szkód dla zdrowia energetyka jądrowa spełnia w wysokim stopniu wymagania zrównoważonego rozwoju.

- Przewiduje się znaczny wzrost światowego zapotrzebowania na energię elektryczną w perspektywie kilkunastu lat, głównie w krajach rozwijających się, ale także w krajach podlegających transformacji ustrojowej oraz niższy, lecz ciągły wzrost w krajach OECD.

W Polsce formułowane są sprzeczne opinie na temat tego wzrostu, który może przynieść poziom produkcji energii elektrycznej brutto w roku 2020 w wysokości 202–264 TWh. Potrzebny jest przeto rozwój metod prognozowania pozwalających na ściślejsze przewidywania tempa wzrostu zapotrzebowania na energię również w okresie zmieniających się warunków ekonomicznych.

Potrzebne jest także uściślenie ocen stanu wykorzystania mocy zainstalowanej w elektrowniach zawodowych z punktu widzenia ich kosztów produkcji, celowości modernizacji i przedłużenia okresu eksploatacji bądź wycofania z eksploatacji w ramach uzasadnionego ograniczania wysokiej obecnie i kosztownej w użytkowaniu rezerwy mocy.

- Wysoki udział węgla i ropy w ogólnym zużyciu nośników energii pierwotnej, charakteryzujących się wysoką emisją CO₂ oraz innych szkodliwych zanieczyszczeń, wywołuje długofalową konieczność przebudowy systemu produkcji energii elektrycznej w Polsce w kierunku radykalnego zmniejszenia energochłonności produkcji oraz udziału nośników o wysokiej wartości węgla.
- W sytuacji obniżania udziału węgla w ogólnej produkcji energii elektrycznej oraz ograniczonych możliwości szerokiego rozwoju produkcji energii ze źródeł odnawialnych, potencjał gazu (głównie w zakresie potrzeb szczytowych i zasilania generacji rozproszonej) oraz energetyki jądrowej powinny stawać się przedmiotem pogłębionych analiz w zakresie kosztów produkcji energii, bezpieczeństwa energetycznego, obciążenia bilansu płatniczego oraz wpływu na środowisko.
- Zakończony dziesięcioletni okres prac w ramach programu ExternE realizowanego przez Unię Europejską przyniósł pierwsze oceny wysokości kosztów ponoszonych przez społeczeństwa, tzw. kosztów zewnętrznych w dziedzinie energetyki. Oceniono, że koszty te stanowią w krajach UE ok. 1–2% ich PKB, a energia wiatru, słońca i energia jądrowa reprezentują najniższy poziom tych kosztów w przeliczeniu na jedną kWh, co oznacza, że wśród cykli opartych na węglu, ropie, gazie, paliwie jądrowym i odnawialnych źródłach energii najniższy poziom szkodliwości dla zdrowia ludności wykazują energia wiatru, słońca i energia jądrowa. Pierwsze, wstępne oceny kosztów zewnętrznych w warunkach polskich wykazały, że stosunek kosztów zewnętrznych do PKB wynosił ok. 5% w roku 1999. Konieczne jest podjęcie systematycznych ocen kosztów zewnętrznych w warunkach polskich. Wiarygodna znajomość wysokości tych kosztów ma istotne znaczenie dla:

- obiektywnego porównywania różnych opcji energetycznych z punktu widzenia interesów społecznych,
 - określania stopnia, w jakim uzasadnione może być subsydiowanie ze środków publicznych rozwijania odnawialnych źródeł energii, bardziej przyjaznych środowisku, a więc tańszych w zakresie kosztów zewnętrznych,
 - bardziej obiektywnej informacji społecznej o szkodliwości i zaletach różnych opcji energetycznych, a tym samym podnoszenia poziomu świadomości ekologicznej.
5. Należy podjąć realizację jednego z zaleceń polityki energetycznej, które dotyczy opracowania strategii zintegrowanego rozwoju i zarządzania energią i środowiskiem oraz wprowadzić mechanizmy wspomaganie ekorozwoju, a szczególnie system handlu emisjami.
6. Wymagania szeroko akceptowanej polityki zrównoważonego rozwoju uzasadniają aktywne działania w kierunku zwiększenia efektywności zarówno wytwarzania nośników energii, jak i końcowego użytkowania energii. Przeprowadzona analiza cech głównych opcji energetycznych z punktu widzenia wymagań zrównoważonego rozwoju wykazała, że z punktu widzenia wysokości kosztów zewnętrznych, energochłonności budowy elektrowni, materiałochłonności budowy w zakresie stali i miedzi oraz wysokości powodowanych szkód dla zdrowia w całym cyklu paliwowym energetyka jądrowa spełnia w wysokim stopniu te wymagania.

LITERATURA

- [1] Jaczewski M.: Światowe tendencje rozwoju elektroenergetyki
[2] Marecki J.: Perspektywy rozwoju elektroenergetyki w Polsce do 2020 r.
[3] Sadowski M.: Rola energetyki w realizacji zobowiązań Konwencji Klimatycznej i Protokołu z Kioto

- [4] Jaworski W.: Konwencje i umowy międzynarodowe jako źródło wymagań ekologicznych dla energetyki
[5] Gronzáles A.: Międzynarodowy system ograniczania emisji substancji promieniotwórczych do środowiska
[6] Cofala J.: Ograniczenia emisji zanieczyszczeń i innych form obciążenia środowiska naturalnego w zakresie gospodarki paliwami i energią obowiązujące w Unii Europejskiej
[7] Rakowski J.: Ekologiczne aspekty wytwarzania energii elektrycznej w krajowych elektrowniach ciepłych
[8] Froński A.: Obciążenie środowiska przyrodniczego w cyklu gazowym związanym z elektrowniami i elektrociepłowniami małej i średniej mocy
[9] Badyda K., Lewandowski J.: Obciążenie środowiska naturalnego wynikające z wykorzystania gazu w rozproszonych siłowniach
[10] Walker R. C.: Obciążenia środowiskowe wynikające z jądrowego cyklu paliwowego
[11] Dmowski A., Biczal P., Kras B.: Aspekty techniczno-ekonomiczne wykorzystania wybranych odnawialnych źródeł energii w telekomunikacji i energetyce
[12] Seitz R.: Obciążenia środowiskowe związane z odpadami w jądrowym i węglowym cyklu paliwowym
[13] Hirschberg S.: Porównanie ryzyka ciężkich wypadków przy wytwarzaniu energii elektrycznej w elektrowniach na paliwo kopalne oraz elektrowniach jądrowych i wodnych
[14] Strupczewski A., Borysiewicz M., Tarkowski S., Radovič U.: Ocena wpływu wytwarzania energii elektrycznej na zdrowie człowieka i środowisko oraz analiza porównawcza dla różnych źródeł energii
[15] Starfelt N.: Analiza ekonomiczna różnych opcji wytwarzania energii elektrycznej z uwzględnieniem efektów zdrowotnych i środowiskowych
[16] Barc W., Jaworski W.: Mechanizmy ekonomiczne prowadzące do ograniczania emisji zanieczyszczeń
[17] Kassenberg A.: Ekorozwój a zaspokajanie potrzeb energetycznych
[18] Voss A.: Zrównoważony rozwój zaopatrzenia w energię



W dniach 25–27 czerwca 2002 r. w Poznaniu odbędzie się

V Ogólnopolska Konferencja

PLANOWANIE ENERGETYCZNE W MIEŚCIE I GMINIE – – odnawialne źródła energii elementem strategii rozwoju gminy

Kierownictwo naukowe:

prof. dr hab. inż. Edward Szczechowiak
Politechnika Poznańska

Patronat:

Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi
Polska Izba Ekologii

Współpraca:

Europejskie Centrum Energii Odnawialnej EC BREC, Narodowa Agencja Poszanowania Energii SA
Krajowa Agencja Poszanowania Energii SA

Dodatkowych informacji udziela: mgr inż. Maria Nicopulos z firmy ABRYS Sp. z o.o.
tel. (061) 847 50 90, 843 w. 46, fax 842 00 35, kom. 0608 37 67 97, e-mail: m.nicopulos@abrys.pl