

Jacek MALKO\*

## Tendencje w wytwarzaniu energii elektrycznej – rola węgla

**STRESZCZENIE.** Rosnące i zmienne ceny, awarie katastrofalne oraz trudności z dostawami są ilustracją politycznego ryzyka uzależnienia od ropy naftowej i gazu. Energetyka jądrowa musi zapewniać najwyższe standardy niezawodności, bezpieczeństwa i ochrony przed dostępem osób niepowołanych. Proponowane np. w UE cele potrojenia udziału technologii wykorzystujących zasoby odnawialne oznaczają w istocie udział jedynie 20% w bilansie energii pierwotnej. Realistycznym rozwiązaniem jest bezpieczeństwo energetyczne oparte na węglu: technologie wychwytywania i magazynowania dwutlenku węgla (CCS) powinny umożliwić kontynuację korzystania z węgla przy uniknięciu emisji.

**SŁOWA KLUCZOWE:** energia elektryczna, wytwarzanie, paliwa pierwotne, techniki, czysty węgiel

### 1. Tło europejskie: nowa polityka energetyczna UE

Lata ostatnie uświadomiły politykom nową kategorię zagrożeń globalnych, związaną z bezpieczeństwem zaopatrzenia w energię. Intensywne prace, których celem było wykreowanie nowej polityki energetycznej Unii Europejskiej, doprowadziły z początkiem roku 2007 do ogłoszenia obszernego zbioru dokumentów, określanego mianem pakietu energetycznego (The Energy Package) [1]. Ogłoszenie tego pakietu jest zwieńczeniem

---

\* Prof. dr hab. inż. — Instytut Energoelektryki, Politechnika Wrocławska.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

intensywnych działań w roku 2006, przejawiających się szeroką dyskusją nad tezami „Zielonej Księgi – Europejskiej strategii na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii” [2]. Z perspektywy podsektora wytwórczego elektroenergetyki – obok podstawowego dokumentu politycznego [1], istotną rolę odgrywają regulacje w zakresie wykorzystywania paliw kopalnych, zwłaszcza węgla [4–6], a także późniejsza (26 marca 2007) decyzja Komisji, dotycząca krajowego planu rozdziału uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> [7]. Dokumenty tworzące pakiet energetyczny zostały przyjęte przez szczyt unijny w dniach 8 i 9 marca 2007 r. [8].

„Europejska polityka energetyczna” [3, 9], potwierdzając strategiczne cele sektora zaopatrzenia w energię:

- ✧ zwiększenie konkurencyjności gospodarki UE na drodze minimalizacji cen energii,
- ✧ ograniczenie szkodliwego oddziaływania obiektów energetycznych na środowisko,
- ✧ zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego

formułuje plan działania w podstawowych kierunkach: tworzenia wewnętrznego rynku energii, solidarności państw członkowskich w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa dostaw ropy naftowej, gazu i energii elektrycznej, długoterminowych zobowiązań do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji, europejskiego planu w zakresie technologii energetycznych i stworzenia spójnej zewnętrznej polityki energetycznej. Działania UE i państw członkowskich obejmują zatem sześć obszarów priorytetowych dla osiągnięcia celu, równoważącego użytkowanie energii, konkurencyjność gospodarki i bezpieczeństwo dostaw. Dokument [3], realizację tego celu ilustruje dążeniem, aby osiągnięty został minimalny poziom energii z bezpiecznych i niskoemisyjnych źródeł energii „Takie podejście połączyłoby swobodę państw członkowskich w wyborze pomiędzy różnymi źródłami energii z potrzebą posiadania przez UE jako całość zróżnicowanych form energii, spełniających ogółem trzy główne cele polityki energetycznej”.

*Pakiet energetyczny*, kreślący zarys działań strategicznych, w krótszym – kilkunastoletnim – horyzoncie czasowym sprowadza się do triady, opisanej skrótem *3 × 20 do 2020 roku*, co oznacza w odniesieniu do bazowego roku 1990:

- ✧ ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> o co najmniej 20%,
- ✧ zwiększenie udziału zasobów odnawialnych do 20% w bilansie energii pierwotnej oraz
- ✧ zwiększenie efektywności wykorzystania (a tym samym i zmniejszenia zużycia) energii pierwotnej o 20%.

W „Konkluzjach Prezydencji” [8] Rada Europejska „wzywa wszystkie zainteresowane strony do szybkich i zdecydowanych działań, mających na celu realizację wszystkich elementów zawartych w „Pakiecie...” z zachowaniem przewidzianych w nim zasad i warunków”.

Kraje członkowskie Unii stają w obliczu ważnego wyzwania: jak kształtować narodową politykę w odniesieniu do sektora zaopatrzenia w energię przy spełnieniu strategicznych celów UE [9].

## 2. Uwarunkowania krajowego podsektora wytwórczego

Zgodnie z opublikowanymi ocenami dla Polski przyrost zapotrzebowania na energię elektryczną (traktowany wariantowo dla przyrostów średniorocznych 1,2 oraz 2,5%) prowadzi do przyrostów procentowych w odniesieniu do roku 2000 odpowiednio 22, 49 i 64% dla roku 2020 i 64, 169 i 204% dla roku 2050 według [10, 11]. W referacie [12] przewiduje się, że wzrost zapotrzebowania w latach 2000–2020 winien kształtować się w przedziale 60–85% w zależności od scenariusza rozwoju gospodarczego. Według prognoz Instytutu Badań nad Gospodarką Rynkową [13] dla przyrostu PKB w tempie 5%/rok oczekiwać należy przyrostu zapotrzebowania na energię do roku 2030 odpowiednio o 35,94, 152% dla scenariuszy: pesymistycznego, bazowego i optymistycznego. Wartości zapotrzebowania na energię przekładają się na konieczność nowych inwestycji; potrzeby te z grubsza szacuje się na rząd 1 GW rocznie, co odbiega dramatycznie od dotychczasowej praktyki inwestowania w moce wytwórcze. Rozważyć zatem należy program rozbudowy źródeł w świetle dostępnych opcji technologicznych; biorąc za podstawę klasyfikacji paliwo pierwotne stan wyjściowy dla świata (2005) charakteryzuje się następującą strukturą produkcji energii elektrycznej (tab. 1).

W świetle tak opisanego stanu rzeczy osobiście rysuje się elektroenergetyka Polski, stanowiąca enklawę monokultury węglowej, aczkolwiek i tu oczekuje się wyraźnej ewolucji. Wprowadzając zagregowane pojęcie „energetyka odnawialno-gazowa” za [14] można przyjąć strukturę w układzie trójsegmentowym (tab. 2).

W referacie programowym XIII Konferencji „Rynek Energii Elektrycznej” [14] J. Popczyk formułuje „mapę drogową” budowy bezpieczeństwa energetycznego kraju w perspektywie najbliższego pięciolecia. Do podstawowych zadań zaliczono:

- ✧ wykorzystanie potencjału rozwojowego kogeneracji,
- ✧ zwiększenie wydobycia krajowego gazu ziemnego,
- ✧ wykorzystanie upraw energetycznych do produkcji biometanu,

TABELA 1. Światowa produkcja energii elektrycznej – 2005. Generacja łączna: 18 000 TW·h

TABLE 1. World electricity production – 2005. Total generation 18 000 TW·h

Paliwo	Generacja całkowita [%]	
	świat	Europa
Węgiel	39	28
Gaz ziemny	17	19,5
Hydroenergetyka	16	15
Energetyka jądrowa	16	30
Produkty ropopochodne	9	4
Inne odnawialne	3	3,5

TABELA 2. Udział energii elektrycznej produkowanej w trzech segmentach paliwowo-wytwórczych w energii końcowej [4]

TABLE 2. Share of power generation segments in final energy production of Poland

Horyzont	Udział [%]		
	węgiel kamienny	węgiel brunatny	energetyka odnawialno-gazowa
2006	54	40	6
2013	45	40	15
2025	40	30	30

Źródło: [14]

- ❖ wybór kierunków inwestowania w obszarze wykorzystania czystych technologii węgla kamiennego i brunatnego,
- ❖ uzgodnienie zharmonizowanego z regulacjami UE systemu podatkowego dla inwestycji energetycznych,
- ❖ wprowadzenie produktowego przydziału uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>,
- ❖ stworzenie sieci źródeł rozproszonych odnawialno-gazowych.

Cele te zdefiniowano ilościowo. Prognoza ta nie przewiduje wejścia do roku 2025 na rynek elektrowni jądrowych, aczkolwiek ich konkurencyjność w odniesieniu do scentralizowanych źródeł węglowych dobitnie podkreśla przykładowo tabela 3.

TABELA 3. Sumaryczne koszty zewnętrzne (środowiska, usług przesyłowych i usług systemowych) dostaw energii elektrycznej odbiorcom dla dostępnych źródeł energii elektrycznej [zł/MWh] [14]

TABLE 3. Summarised external costs (environment, transmission services, ancillary services) of energy supply for particular generation technologies in pln/MWh

Rodzaj źródła (elektrownia)	Koszty emisji CO <sub>2</sub>		Koszty rezerw mocy	Koszty przesyłu	Suma	
	min.	max.			min.	max.
Jądrowa	0,00	0,00	5,14	21,2	26,4	26,4
Na węgiel brunatny	38,30	153,22	3,96	17,6	59,9	174,8
Na węgiel kamienny	36,23	144,93	3,60	20,6	60,4	169,1
Gazowa 20–50 MW	21,89	87,55	1,94	-19,1	4,7	70,4
Gazowa 1–7,5 MW	19,15	76,61	1,51	-22,7	-2,0	55,4
Gazowa do 400 kW	19,15	76,61	0,86	-54,9	-34,9	22,6
Wiatrowo-gazowa	15,32	61,29	0,15	-38,1	-22,6	23,3
Biometanowa	0,00	0,00	0,53	-124,6	-124,1	-124,1
Wodna (mała)	0,00	0,00	2,82	-86,3	-83,5	-83,5
Ogniwo paliwowe	19,15	76,61	6,95	-124,6	-98,5	-41,0

Źródło: [14]

### 3. Odnawialne źródła energii (OZE)

Dostępne dane literaturowe dowodzą znaczących rozbieżności zarówno w ocenie potencjału technicznego jak i perspektyw wykorzystania OZE w kraju, przy czym wartości tych ocen zmieniają się w czasie. Przykładowo opracowania IPPT PAN z początku lat dziewięćdziesiątych (na przykład [15]) potencjał techniczny zasobów odnawialnych szacowały na poziomie 600 PJ/rok. W późniejszej pracy [16] zestawiono dane odnośnie do potencjału technicznego OZE w Polsce, podkreślając znaczące rozbieżności (od 196 do 1492 PJ/rok) w tych ocenach. Bliskie górnej granicy oszacowań są dane publikowane przez Rządowe Centrum Studiów Strategicznych (1750 PJ/rok, [17]) oraz Europejskie Centrum Energii Odnawialnej (2514 PJ/rok, [18]). Skromniejsze są oceny raportu Banku światowego (1414 PJ/rok, [19]), a jeszcze niższe są szacunki, opublikowane w raporcie o technicznych i społecznych wizjach przyszłości Europy (~840 PJ/rok, [20]). Spotkać również można dane odbiegające daleko od przytoczonych: przykładowo w referacie [21] potencjał zasobów energetyki odnawialnej określa się na 625 000 PJ/rok, z czego 99,8% przypada na energię geotermalną.

Pewne światło na perspektywy OZE i ich rolę w bilansie energetycznym rzucają badania, przeprowadzone metodą delficką dla krajów europejskich. W pracy [22] szeroko zakrojone badania reprezentatywnego grona ekspertów prowadzą do wniosków następujących:

- ✧ przekroczenia progu 25% udziału OZE w pokryciu całkowitego zapotrzebowania energii dla Europy oczekiwać można około roku 2034,
- ✧ udział generacji rozproszonej w wytwarzaniu energii elektrycznej przekroczy 30% około roku 2021.

Ponadto rozwiązanie problemu sekwestracji CO<sub>2</sub> można się spodziewać około roku 2022.

Z przytoczonych danych – odrzucając oceny skrajne – wynika wniosek ogólny: w obliczu oczekiwanego przyrostu zapotrzebowania na energię (w tym energię elektryczną) nawet zakładana znaczna dynamika rozwoju OZE nie stanowi rozwiązania problemu niezbędnego przyrostu dostaw energii dla gospodarki narodowej i Polska nie stanowi tu wyjątku. Konieczny jest realizm: „w perspektywie 20–30 lat nie należy oczekiwać istotniejszych przewartościowań ani też skokowych zmian w strukturze nośników, wykorzystywanych w instalacjach produkcji elektryczności i ciepła” [23]. Nie należy zatem pokładać zbyt wielkich nadziei na rozwiązanie m.in. problemów nadmiernej emisji z sektora energii na drodze zwiększenia wykorzystania potencjału energetyki odnawialnej. W perspektywie najbliższych dziesięcioleci na rynku dominować będą nadal „technologie dojrzałe”, cechujące się wysoką sprawnością energetyczną, wysoką niezawodnością, dyspozycyjnością i elastycznością eksploatacyjną, spełniające restrykcyjne ograniczenia emisyjne oraz konkurencyjne rynkowo. Warunki te spełnione są przez dwie klasy technologii, wykorzystujące paliwa rozszczepialne oraz klasyczne paliwa kopalne: węglowe i węglowodorowe – z podziałem na technologie węglowe (z kotłami pyłowymi – PC i fluidalnymi – FBC) oraz układy gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem paliw stałych – (IGCC) oraz kla-

syczne układy gazowo-parowe (CCGT). Szczegółowe analizy tych rozwiązań technicznych i ich ocenę ekonomiczną znaleźć można w literaturze przedmiotu (na przykład [14, 23–31]).

## 4. Technologie jądrowe

Przewartościowanie poglądów na energetykę jądrową jest zarówno wynikiem poszukiwania alternatywnych rozwiązań w zakresie technologii nisko – lub nawet zero-emisyjnych, zadowalającej niezawodności eksploatacyjnej istniejących bloków jądrowych i ich konkurencyjności rynkowej jak i dojrzałych technicznie ofert „wewnętrznie bezpiecznych” reaktorów nowych generacji [32]. Nastąpił również psychologiczny przełom w akceptacji społecznej; warto przypomnieć niedawne publiczne wypowiedzi nieprzejednanych do niedawna przywódców ruchów ekologicznych. Lider ruchu Greenpeace dr Patrick Moore oświadczył przed Komisją Kongresu ds. Energii, że energetyka jądrowa jest przyszłością USA i jest obecnie „jedynym sensownym źródłem energii, nie przyczyniającym się do efektu cieplarnianego”. Również kateryczny w osądzie jest sir James Lovelock z Green College w Oxfordzie: „Nie twierdę, że energia jądrowa jest długookresowym lekarstwem dla naszej niedomagającej planety czy też rozwiązaniem wszystkich naszych problemów. Uważam jednak, że jest to jedyne skuteczne lekarstwo, jakim dziś dysponujemy. Musimy jednak zrobić dużo więcej, niż przestawienie się na energię jądrową: musimy stosować się do dobrej rady ekologów, aby oszczędzać energię”.

TABELA 4. Generacja energetycznych reaktorów jądrowych [30]

TABLE 4. Generations of nuclear reactors technologies

Generacja	Lata	Charakterystyka	Przykłady konstrukcji
I	1950–1965	Wczesne reaktory prototypowe	Shippingport, Dresden, Fermi I, Magnum
II	1965–1995	Reaktory dostępne handlowo dominujące w eksploatowanych obecnie EJ	LWR: PWR/WWER i BWR, RBMK, CANDU, AGR
III	1995–2010	Zaawansowane reaktory lekko-wodne (ALWR)	ABWR, System 80+, APWR, AP600, EPR
III+	2010–2030	Ewolucyjne reaktory Generacji III	ACR 1000, AP 1000
IV	2030 i dalej	Wysoko ekonomiczne, o zwiększonym bezpieczeństwie, zminimalizowanej ilości odpadów, zabezpieczone przed proliferacją materiałów rozszczepialnych	GFR, LFR, MSR, SFR, SCWR, VHTR

Źródło: [32]

„Przestawianie się na energetykę jądrową” musi wykorzystywać udoskonalone technologie reaktorowe: tabela 4 ilustruje postęp generacyjny w tym zakresie.

Tematyka energetyki jądrowej w Polsce była szeroko zaprezentowana na Konferencji „Elektrownie jądrowe dla Polski” (czerwiec 2006). Wymowny jest tytuł referatu programowego tej imprezy: „Dlaczego istnieje w Polsce konieczność budowy elektrowni jądrowych?” [33]. Po roku temat ten wraca na konferencji w Juracie jako wskazanie konkretnej opcji technologicznej [34]. Jednakże decyzja o budowie musi być poprzedzona szerokim programem informacyjnym i dotarciem do społeczeństwa z wiarygodnymi argumentami zarówno *pro* jak i *contra*. Doświadczenia z Żarnowcem są wymownym przykładem klęski polityki w tym zakresie.

## 5. Technologie gazowe

Efektywny postęp techniczny w dziedzinie wykorzystania paliwa gazowego (na przykład [23, 27]). Łącznie z przełamaniami symbolicznego progu 60% sprawności wykorzystania energii chemicznej paliwa w układach gazowo-parowych – nakłada się na narastające ryzyko uzależnienia od dostaw z obszarów podwyższonego ryzyka politycznego. Sytuacja ta nakazuje ostrożność przy wyborze opcji gazowej dla pokrycia strefy obciążenia podstawowego, a przeprowadzone symulacje wykazują znaczną czułość kosztów generacji energii elektrycznej i ciepła na zmianę cen paliwa gazowego [23]. Mniejsze ryzyko wiąże się z wykorzystaniem gazu dla źródeł kogeneracyjnych średniej i małej mocy – wspomniana propozycja utworzenia segmentu odnawialno-gazowego [14] generacji rozproszonej jest uznaniem roli technologii wysokosprawnych, elastycznych eksploatacyjnie i niezawodnych. Są to cechy układów wykorzystujących zarówno turbiny jak i gazowe silniki tłokowe.

## 6. Technologie węglowe

W perspektywie najbliższego dwudziestolecia wiele wskazuje na utrzymanie silnej pozycji przez węgiel jako paliwo dla elektroenergetyki w skali światowej, a zwłaszcza w Polsce. O ile globalnie mówi się o powrocie węgla (na przykład [35, 36, 37]), to w warunkach Polski jest to nadal dominacja na rynku paliwowym; nawet efektowny rozwój segmentu odnawialno-gazowego (pięciokrotny wzrost udziału w produkcji energii elektrycznej według [14]) nie narusza quasi monopolistycznej pozycji węgla (~70%). Liczne są po temu powody: „Węgiel może być źródłem energii użytecznej po kosztach sześciokrotnie niższych niż paliwa węglowodorowe. Zasoby są ogromne i rozmieszczone względnie równomiernie na wszystkich kontynentach (...) – co jest niezmiernie istotne dla bezpieczeństwa dostaw w aktualnym klimacie politycznym (...). Niestety drugą stroną medalu są

wysokie emisje CO<sub>2</sub> i innych polutantów, będące przedmiotem coraz bardziej restrykcyjnych regulacji (...). Wychwytywanie i sekwestracja dwutlenku węgla jest krytyczną dostępną technologią, mogącą ograniczyć znacząco emisje węglowe, umożliwiając zarazem pokrycie zapotrzebowania świata na energię” [35].

Postęp w zakresie technologii węglowych kształtować się będzie zapewne w kierunkach [23]:

- ✧ hybrydyzacji istniejących struktur technologicznych z potencjałem nowych technologii (zwłaszcza ogniów paliwowych),
- ✧ opanowania efektywniejszych technologii spalania węgla,
- ✧ rozwinięcia koncepcji wieloproduktowości procesu konwersji paliwa węglowego (ciepło, energia elektryczna, chłód, produkty syntezy chemicznej, wodór),
- ✧ minimalizacji emisji na drodze pochwytywania i magazynowania (sekwestracji) CO<sub>2</sub>.

Konieczność uwzględniania zarówno aspektów technicznych (sprawność), ekonomicznych (koszty), jak i środowiskowych (emisja, zwłaszcza CO<sub>2</sub>) skłania do podejścia zintegrowanego: ważny dokument Rady Unii Europejskiej [8] ujmuje to jako zintegrowaną politykę klimatyczną i energetyczną. „Europejska polityka energetyczna z pełnym poszanowaniem prawa państw członkowskich do wyboru własnej struktury wykorzystania paliw w energetyce oraz do ich suwerenności w zakresie pierwotnych źródeł energii i w duchu solidarności pomiędzy państwami członkowskimi będzie dążyła do realizacji następujących trzech powszechnie akceptowanych celów strategicznych:

- ✧ zwiększenia bezpieczeństwa dostaw,
- ✧ zapewnienia konkurencyjności gospodarek europejskich i dostępności energii po przystępnej cenie,
- ✧ promowania równowagi ekologicznej i przeciwdziałanie zmianom klimatu.

Aspekt zrównoważenia produkcji energii (zwłaszcza z wykorzystaniem paliw kopalnych) znajduje odbicie w innych kluczowych dokumentach [4–6] pakietu energetycznego. Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego w swej wersji ostatecznej KOM (2006) 843, [6], poprzedzony tzw. oceną wpływu proponowanych rozwiązań [5], najsilniejszy akcent kładzie na problemach węgla jako paliwa dla elektroenergetyki.

Poza stwierdzeniem faktu dość oczywistego, że „węgiel jest od dawna najważniejszym paliwem kopalnym, wykorzystywanym w produkcji energii elektrycznej (ok. 30% udział w produkcji energii elektrycznej w UE), a jednocześnie powodującym największą emisję dwutlenku węgla”, dokument idzie dalej w konkluzji, że „przeważająca część przyszłego wzrostu zużycia energii zostanie pokryta dzięki wykorzystaniu węgla (...). Węgiel jest i pozostanie głównym czynnikiem gwarantującym bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej w UE (...). Nawet przy założeniu realizacji strategii na rzecz wzrostu efektywności energetycznej i wykorzystaniu źródeł odnawialnych węgiel powinien pozostać w najbliższych dziesięcioleciach istotną alternatywą, umożliwiającą pokrycie zasadniczego zapotrzebowania na energię elektryczną, którego nie mogą zaspokoić źródła odnawialne. Jednak węgiel może nadal stanowić cenny wkład w zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii (...) jedynie w przypadku zastosowania technologii umożliwiających radykalne zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, łączących zalety niskiej emisyjności i wysokiej sprawności. Dokument [6] wprowadza też pojęcie zrównoważonych technologii węglowych, uwzględ-



niających koncepcje wychwytywania i składowania CO<sub>2</sub> – Carbon Capture and Storage – znane pod akronimem CCS.

Współdziałanie mechanizmów rynku i wymuszeń regulacyjnych w zakresie redukcji emisji węglowych stwarza szansę osiągnięcia w najbliższych 10–15 latach opłacalności komercyjnej technologii CCS. Tak sformułowany program zyskał wsparcie ze strony przemysłu energetycznego w postaci Platformy Technologicznej na rzecz Elektrowni na Paliwa Kopalne z Zerową Emisją (ZEP TP [37]). Ogłoszono plany budowy 10–15 elektrowni węglowych, stanowiących poligon doświadczalny różnych technologii CCS w skali technicznej. Uzyskane doświadczenia umożliwiają zweryfikowanie koncepcji i osiągnięcie poziomu standardowych zastosowań w elektrowniach z emisją zerową po roku 2020. Precyzyjne ramy prawne na rzecz wprowadzania zrównoważonych paliw kopalnych mają stworzyć dostateczne preferencje dla modelu działań gospodarczych w energetyce węglowej po roku 2020. Rozważa się wprowadzenie zachęt ekonomicznych, wspierających wprowadzenie i stosowanie CCS w konwencjonalnych elektrowniach węglowych zarówno nowobudowanych jak i modernizowanych. Bódcowy charakter mogą mieć przykładowo:

- ✧ korzystniejsze warunki długoterminowych decyzji inwestycyjnych przez zagwarantowanie stabilności systemu handlu uprawnieniami do emisji, ułatwienia w finansowaniu przedsięwzięć oraz instrumenty zarządzania ryzykiem,
- ✧ budowa miejsc składowania CO<sub>2</sub> oraz infrastruktury rurociągów odbioru CO<sub>2</sub> na poziomie państw członkowskich,
- ✧ przyjęcie prawnie obowiązujących środków określających po roku 2020 dopuszczalne wartości emisji jednostkowych (na kW·h) i ustalających tempo wycofywania mocy wytwórczych nie spełniających zasady CCS.

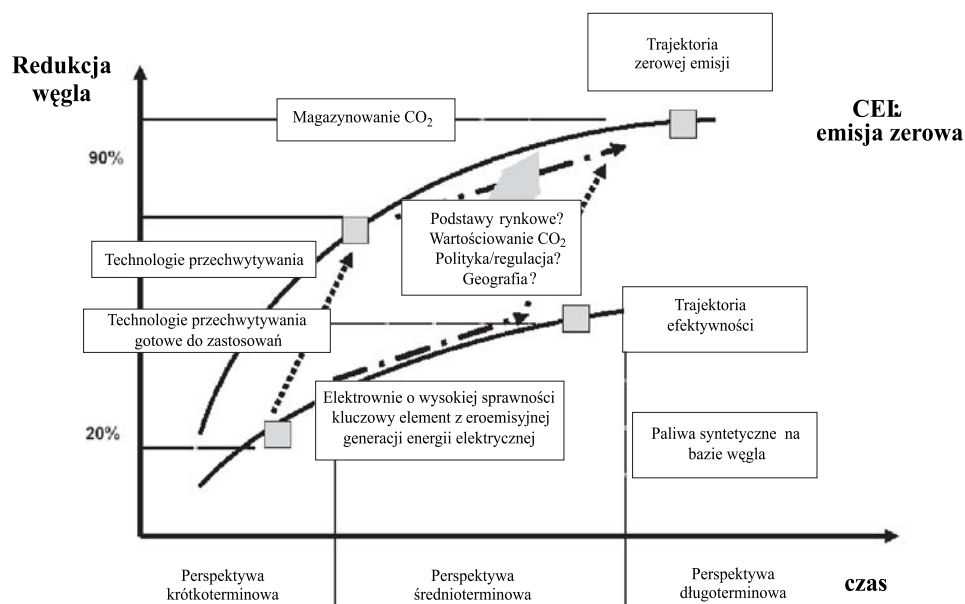
Próbę jakościowej oceny skutków zastosowania CCS w wariantcie kontynuacji („*business as usual*”) oraz w dwóch wariantach rozwoju energetyki jądrowej przedstawia

TABELA 5. Zużycie węgla oraz globalne emisje CO<sub>2</sub> z wykorzystaniem i bez wykorzystania technologii wychwytywania i magazynowania CO<sub>2</sub>, EJ

TABLE 5. Coal consumption and global CO<sub>2</sub> emissions with without carbon capture and storage (CCS) acc. [35]

	„Business as usual”		Scenariusz rozwoju energetyki jądrowej			
	2000	2050	ograniczony		rozszerzony	
Zużycie węgla [EJ]	2000	2050	z CCS	bez CCS	z CCS	bez CCS
Globalne:	1 000	448	161	116	121	78
USA	24	58	40	28	25	13
Chiny	27	88	39	24	31	17
Globalne emisje CO <sub>2</sub>	24	62	28	32	26	29
Emisje CO <sub>2</sub> z węgla	9	32	5	9	3	6

Źródło: [35]



Rys. 1. Trajektoria osiągnięcia celu emisyjności zerovej dla paliw kopalnych według Europejskiej Platformy Technologicznej (ETP) za [12]

Fig. 1. Trajectories of approach to zero-emission target acc. [38]

za [35], tabela 5 zaś trajektorie dojścia do emisji zerovej według [38], przedstawione na rysunku 1 ilustrują Koncepcję Europejskiej Platformy Technologicznej.

## Literatura

- [1] Komisja Wspólnot Europejskich: Pakiet energetyczny, The Energy Package. Bruksela, 10.01.2007: [www.ec.europa.eu/energy/energy-policy](http://www.ec.europa.eu/energy/energy-policy).
- [2] Komisja Wspólnot Europejskich: Zielona Księga – Europejska Strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii. KOM (2006) 105. Bruksela, 8.03.2006.
- [3] Komisja Wspólnot Europejskich: Europejska polityka energetyczna. KOM (2007) 1. Bruksela, 10.01.2007.
- [4] Komisja Wspólnot Europejskich: Ograniczenie globalnego ocieplenia do 2oC w perspektywie roku 2020 i dalszej. KOM (2007) 2. Bruksela, 10.01.2007.
- [5] Komisja Wspólnot Europejskich: Dokument roboczy służb Komisji w sprawie zrównoważonej produkcji energii z paliw kopalnych. SEK (2006) 1723. Bruksela, 10.01.2007.
- [6] Komisja Wspólnot Europejskich: Zrównoważona produkcja energii z paliw kopalnych: cel – niemal zerovej emisja ze spalania węgla po 2020 r. KOM (2006) 843. Bruksela, 10.01.2007.
- [7] Komisja Wspólnot Europejskich: Decyzja Komisji dotycząca krajowego planu rozdziału uprawnień do emisji... Bruksela, 26.03.2007.
- [8] Rada Europejska: Konkluzja Prezydencji (OR. en – CONCL 1). Bruksela, 9.03.2007.
- [9] European Commission: Taking action – a plan for a Common European Energy Policy. EC 2007.

- [10] JACZEWSKI M., 2007 — Ewolucja zużycia energii pierwotnej... Mat. Konf. APE'07. Jurata, czerwiec 2007.
- [11] EC BREC: Wykorzystanie źródeł energii odnawialnej... Dane ARE SA, GUS, EC BREC, Warszawa 2006, [www.ieo.pl](http://www.ieo.pl).
- [12] MARECKI J., 2004 — Energetyka polska wczoraj, dziś i jutro... Mat. Sesji KPE PAN, Gdańsk.
- [13] Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową: Długookresowa prognoza makroekonomiczna i sektorowa rozwoju Polski w latach 2004–2025. IBGR. Warszawa, 2004.
- [14] POPCZYK J., 2007 — Innowacyjność technologiczna, odwołanie się do własnych zasobów i konkurencja podstawą bezpieczeństwa dostaw energii... Mat. Konf. Rynek Energii Elektrycznej. Kazimierz D., maj 2007.
- [15] Instytut Podstaw Problemów Techniki PAN: Ochrona środowiska w państwowej polityce energetycznej. ZPE IPPT PAN, Warszawa, 1994.
- [16] CHWIEDUK D., 2000 — Szanse i bariery rozwoju energii odnawialnej w kraju. Mat. XIV Kraj. Konf. Zagadnienia surowców energetycznych... IGSMiE PAN, Zakopane, październik 2000.
- [17] Rządowe Centrum Studiów Strategicznych: Zapotrzebowanie kraju w surowce energetyczne i energię... Warszawa, wrzesień 2004.
- [18] Europejskie Centrum Energii Odnawialnej: Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii... EC B...EC. Warszawa 2000.
- [19] HANFF J., 1996 — Raport dla potrzeb Banku światowego. Waszyngton.
- [20] ESD Ltd: Meeting the Challenge – The European Renewable Energy Study TERES II. Brussels, 1997.
- [21] GROCHAL W., 2006 — Odnawialne źródła energii – przyszłość rynku energetycznego. Mat. Konf. Biogaz z odpadów... Kielce, maj 2006.
- [22] European Energy Delphi: Technology and Social Visions for Europe's Energy Future. Final Report. Nov. 2004.
- [23] CHMIELNIAK T., 2006 — Nowe technologie energetyczne. Archiwum Energetyki t. XXXVI.
- [24] WOJCIECHOWSKI H., 2007 — Przegląd technologii energetycznych. Mat. Zjazdu Elektroenergetyka. Międzyzdroje, maj 2007.
- [25] ARNTSEN I. — Corporate strategy for sustainability. The World Energy Book. Iss. 3. WEC 2006.
- [26] PAWLIK M. — Konwencjonalne elektrownie opalane węglem na ścieżce dalszego rozwoju. Mat. Sesji Nowoczesne technologie energetyczne. KPE, PAN. Gdańsk, 2004.
- [27] ZAPOROWSKI B. — Technologie energetyczne w elektrowniach i elektrociepłowniach gazowych i gazowo-parowych. Mat. Sesji KPE, PAN. Gdańsk, 2004.
- [28] PASKA J., 2005 — Wytwarzanie energii elektrycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [29] PASKA J., SURMA T., 2007 — Stan obecny i perspektywy rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce. Mat. Konf. REE. Kazimierz D., maj 2007.
- [30] PAWLIK M., 2002 — Zaawansowane technologicznie elektrownie na rynku energii elektrycznej [w:] Problemy systemów elektroenergetycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [31] KORAB R., KOCOT H., 2007 — Konwersatorium Energetyka przyszłości. Gliwice, styczeń 2007, [www.egie.pl](http://www.egie.pl).
- [32] CLEVICI A., 2006 — A nuclear renaissance. The World Energy Book, Iss. 3. WEC.
- [33] MARECKI J., DUDA M., 2006 — Dlaczego istnieje w Polsce konieczność budowy elektrowni jądrowych. Mat. Konf. Elektrownie jądrowe dla Polski. Warszawa, czerwiec 2006.

- [34] BRZOZOWSKI W., 2007 — Reaktor EPR jako technicznie optymalne rozwiązanie dla pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Mat. Konf. APE'07. Jurata, czerwiec 2007.
- [35] PROBERT T., 2007 — Dont coal it a comeback. PEI. Vol. 15. Iss. 3.
- [36] ROSENBAUER G., 2006 — Clean coal: bringing CCS to market. The World Energy Book. Iss. 3. WEC.
- [37] ŚCIAŻKO M. — Współczesne i przyszłościowe technologie energetyczne. Przegląd Energetyki Nr 1 (45), marzec 2007.
- [38] SIEMASZKO S., 2007 — Wspólna Inicjatywa Technologiczna dla Czystego Węgla. ETP. Warszawa.

Jacek MALKO

## Trends on electricity generation role of the coal

### Abstract

Rising, volatile prices, blackouts and difficulties in supply have all illustrated the political.

Risk of being overly dependent on oil and gas. Nuclear power must respect the highest standards of safety, security and non-proliferation. Proposed eg. in EU aim is to triple the share of renewable energy, but it means only 20% in 2020. Realistic option is then energy security based on coal: carbon capture and storage (CCS) technology could allow the continued use of coal while avoiding the carbon dioxide emissions.

KEY WORDS: electricity, generation, primary fuels, technologies, clean coal