

Dr hab. inż., prof. Lidia Gawlik, dr inż. Alicja Uliasz – Bocheńczyk,
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

dr inż Henryk Majchrzak,
PSE Operator SA, Warszawa

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
Wydział Energetyki i Paliw AGH, Kraków

Perspektywy węgla kamiennego i brunatnego w Polsce i Unii Europejskiej¹⁾

The prospects of hard and brown coal in Poland and in the European Union

Zgodnie z przyjętym w końcu 2008 roku przez Unię Europejską pakietem energetycznym węgiel do 2020 r. pozostanie jednym z głównych źródeł energii we Wspólnocie oraz ważną alternatywą dla węglowodorów płynnych i gazowych. Związane jest to z dużą jego dostępnością we wszystkich regionach geograficznych świata oraz łatwością magazynowania. Zbyt wysoka emisja dwutlenku węgla (CO₂) podczas spalania stanowi istotną przeszkodę w szerszym (i dalszym) jego wykorzystaniu do celów energetycznych, przede wszystkim do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. W związku z tym konieczne są instalacje do wychwytywania i składowania dwutlenku węgla CCS (Carbon Capture and Storage). Do 2015 roku Komisja Europejska zamierza uruchomić 12 testowych instalacji tego typu, a do 2020 r. – około 20. Ważny też staje się rozwój czystych technologii węglowych.

W referacie przybliżono rolę węgla w państwach Unii Europejskiej zarówno pozytywną – w dywersyfikacji źródeł energii, jak i negatywną – zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego. Na tle światowych zasobów i możliwości wydobycia oraz zapotrzebowania przez Unię Europejską na węgiel określono rolę, jaką może odgrywać polskie górnictwo węglowe.

¹⁾ Referat wygłoszony podczas 21. Światowego Kongresu Energetycznego w Montrealu, Kanada; opublikowany w czasopiśmie *Przeгляд Górnicy* 2010, nr 3-4

Zasoby węgla

Światowe zasoby węgla są bardzo duże. Potwierdzone zasoby węgla według EURACOAL [1] szacowane są na 726 mld tpu, natomiast według WEC – 826 mld ton [2]. Potwierdzone zasoby w poszczególnych regionach geograficznych świata przedstawiono w tabeli 1.

Około 81,9% to zasoby węgla kamiennego, a reszta – 18,1% to węgiel brunatny.

Tabela 1
Potwierdzone zasoby węgla w regionach geograficznych świata według stanu na koniec 2008 r., mld ton

Region geograficzny	Węgiel	
	kamienny	brunatny
Ameryka Północna	213,754	32,526
Ameryka Południowa	14,982	0,024
Europa	190,488	44,649
Azja	184,379	35,027
Środkowy Wschód	1,386	0,000
Afryka	32,010	0,003
Australia i Oceania	39,140	37,633
Świat	676,139	149,862

Źródło: [2]

Największe potwierdzone zasoby węgla znajdują się w USA – około 238,3 mld ton (28,8% światowych zasobów). Bardzo duże zasoby ma również Rosja – około 157,0 mld ton i Chiny 114,5 mld ton. Liczącym się krajem w Europie pod względem ilości zasobów jest również Ukraina (33,9 mld ton). Z europejskich zasobów węgla wynoszących 235,1 mld ton aż 66,8% stanowią zasoby rosyjskie, a dalsze 14,4% zasoby Ukrainy. W Unii Europejskiej znaczące zasoby węgla kamiennego posiadają Polska i Czechy, zaś znaczące węgla brunatnego – Niemcy, Grecja, Węgry, Bułgaria i Polska.

Światowe zasoby surowców energetycznych (według stanu na 2008 r.) szacowane są na około 838 Gtoe (1 toe = 42 GJ), z tego około 500 Gtoe (59,7%) wynoszą zasoby węgla kamiennego i węgla brunatnego, około 170 Gtoe (20,4,9%) stanowią zasoby ropy naftowej, a około 166 Gtoe (19,9%) – zasoby gazu ziemnego [3].

Zużycie światowe pierwotnych nośników energii w 2007 roku wynosiło 15,9 Gtpu, z tego 35% stanowiło zużycie ropy naftowej, 29% – węgla, 24% – gazu, 6% – energetyka jądrowa i 6% – odnawialne źródła energii [4].

Zużycie w UE–27 pierwotnych nośników energii w 2007 roku wynosiło 2,6 Gtpu, z tego 24% stanowiło zużycie gazu, 18% – węgla, 13% – energii jądrowej, 5% – odnawialnych źródeł energii i, 4,0% – ropy naftowej [5].

Wysokie wskaźniki konsumpcji ropy w świecie i gazu w Unii Europejskiej stwarzają niebezpieczeństwo szybkiego szczerpania istniejących zasobów tych surowców. W tabeli 2 przedstawiono statyczne wskaźniki szczerpywania zasobów R/P pierwotnych nośników energii dla świata i UE–27 (+Norwegia). Zasobów ropy wystarczy Europie na około 10 lat, a gazu ziemnego na 19, podczas gdy wskaźniki wystarczalności zasobów węgla są znacznie wyższe. Podobne tendencje obserwuje się dla światowych wskaźników wystarczalności surowców energetycznych.

Tabela 2

Statyczny wskaźnik szczerpywania zasobów kopalnych surowców energetycznych R/P, lat

Surowiec	EU-27 +Norwegia	Świat
Ropa	10	42
Gaz ziemny	19	62
Węgiel kamienny	100	136
Węgiel brunatny	126	293

Źródło: [6]

Polskie zasoby bilansowe surowców energetycznych w 2007 r. szacowane są na około 40,96 Gtpu, w tym 14,41 Gtpu stanowią zasoby zagospodarowane. W strukturze zasobów bilansowych pierwotnych nośników energii w Polsce udział węgla kamiennego sięga 89,4%, a węgla brunatnego – 9,8%. Zasoby pozostałych surowców energetycznych są bardzo ograniczone: ropa naftowa (0,1% zasobów pierwotnych nośników energii w Polsce), gaz ziemny (0,4%) i metan pokładów węgla (0,3%) [7].

Zasoby bilansowe węgla kamiennego w Polsce wynoszą 36,63 Gtpu, z czego zasoby zagospodarowane to 13,7 Gtpu. Zasoby bilansowe węgla brunatnego wynoszą 4,01 Gtpu, w tym 0,53 Gtpu to zasoby zagospodarowane [7, 8].

Cechą polskiego bilansu zasobów pierwotnych nośników energii jest bardzo wysoki, znacznie wyższy od średniej światowej, udział węgla. O ile zapotrzebowanie na węgiel może być pokryte ze źródeł krajowych, to potrzeby w zakresie zaopatrzenia w ropę i gaz ziemny w znaczącym stopniu muszą być pokrywane importem.

Produkcja, zapotrzebowanie, eksport i import

Rozwój górnictwa węgla w konkretnym miejscu (kraju) zależy od wielu czynników, wśród których można wymienić [9-13]:

- dostępność bazy zasobowej,
- zagrożenia warunkujące bezpieczne wydobywanie węgla,
- stan techniczno-organizacyjny kopalń,
- społeczne skutki działalności kopalń,
- ekonomiczna opłacalność produkcji górniczej.

W tabeli 3 zamieszczono wydobycie węgla kamiennego w świecie w latach 2006–2008. Globalne wydobycie węgla kamiennego w 2008 r. wynosiło 5,85 Gt. Chiny są niekwestionowanym liderem światowym z wydobyciem ponad 2,6 Gt węgla, co stanowi ponad 44,8% światowej produkcji. Unia Europejska w roku 2008 zmniejszyła wydobycie o 21,1 Mt w porównaniu z rokiem 2006 (163,9 Mt).

Tabela 3

Wydobycie węgla kamiennego w świecie w latach 2006-2008, mln ton

Kraj	Rok		
	2006	2007	2008
Chiny	2 381,0	2 536,0	2 621,8
USA	980,0	973,8	999,9
Indie	421,1	445,6	460,0
Australia	309,1	322,0	341,0
Federacja Rosyjska	234,0	322,0	275,0
RPA	245,0	246,0	242,0
Indonezja	199,0	231,0	255,0
Kazachstan	92,0	88,0	90,0
Ukraina	80,0	75,0	78,0
Kolumbia	61,0	67,0	71,0
Wietnam	38,0	42,0	40,0
Kanada	29,9	32,8	33,9
Pozostałe bez UE	117,1	138,8	199,6
RAZEM bez UE	5 187,1	5 448,0	5 707,2
UNIA EUROPEJSKA			
Polska	94,4	87,4	83,6
Niemcy	23,8	24,2	19,1
Wielka Brytania	18,1	16,5	17,3
Czechy	13,4	12,9	12,6
Hiszpania	11,6	11,0	10,0
RAZEM UE	163,9	152,0	142,8
OGÓŁEM ŚWIAT	5 351,0	5 600,0	5 850,0

Źródło: [14]

Węgiel kamienny jest obecnie wydobywany jedynie w sześciu krajach Unii. Ze względu na wielkość wydobycia można je uszeregować następująco: Polska, Niemcy, Wlk. Brytania, Czechy, Hiszpania i Rumunia. Węgiel brunatny jest wydobywany w dziesięciu krajach Unii. Według wielkości wydobycia są to następujące kraje: Niemcy, Grecja, Polska, Czechy, Rumunia, Bułgaria, Węgry, Hiszpania, Słowenia i Słowacja.

W Polsce zanotowano obniżenie produkcji węgla kamiennego o 10,8 mln ton w roku 2008 w porównaniu z 2006 r. (94,4 Mt).

Trzeba podkreślić, że zarówno w ujęciu ilościowym jak i wartościowym są to znaczne ilości.

Pomimo działań proefektywnościowych oraz prooszczędnościowych, rozwój świata zmierza w kierunku wzrostu zapotrzebowania na energię. W tabeli 4 przedstawiono popyt na energię pierwotną w scenariuszu referencyjnym WEO do 2030 roku [15]. Najnowsze prognozy przewidują niższy niż wcześniej wzrost zapotrzebowania na pierwotne nośniki energii, nie mniej jednak wciąż wzrost ten sięga średnio 1,5% rocznie pomiędzy rokiem 2007 a 2030. Analiza struktury zapotrzebowania prowadzi do wniosku, że w referencyjnym scenariuszu największy wzrost zapotrzebowania dotyczy węgla (1,9% - średniorocznie).

Globalny popyt na energię pierwotną w 2030 roku w scenariuszu referencyjnym wynosił będzie około 16,8 Gtoe, z tego prawie 30% przypadać będzie na ropę naftową (ponad 5,0 Gtoe), 29,1% na węgiel (prawie 4,9 Gtoe), około 21,2% na gaz ziemny (3,6 Gtoe), 5,7% na energię jądrową (około 1,0 Gtoe) i około 14,2% na odnawialne źródła energii (około 2,4 Gtoe).

Tabela 4

Światowy popyt na energię pierwotną w scenariuszu referencyjnym World Energy Outlook do 2030 roku, Mtoe

Nośnik energii/ źródło energii	Lata				
	1980	2000	2007	2030	
Węgiel	1 792	2 292	3 184	3 828	4 887
Ropa naftowa	3 107	3 655	4 093	4 234	5 009
Gaz ziemny	1 234	2 085	2 512	2 801	3 561
Energia jądrowa	186	676	709	810	956
Odnawialne*	909	1 311	1 515	1 815	2 376
RAZEM	7 228	10 018	12 013	13 488	16 790

*obejmuje energię wody, biomasę, odpady i inne źródła odnawialne
Źródło: [15]

Scenariusz referencyjny nie uwzględnia propagowanych ostatnio haseł związanych z ochroną klimatu Ziemi. International Energy Agency przygotowała zatem również scenariusz, który zakłada ograniczenie wzrostu średniej światowej temperatury do 2°C. W tym tzw. Scenariuszu 450 światowe emisje CO₂ związane z zużyciem energii osiągają swoje maksimum na poziomie 20,9 Gt na krótko przed 2020 r. i spadają następnie do poziomu 26,4 Gt w 2030 r. o 2,4 Gt poniżej emisji w 2007 r. i o 13,8 Gt poniżej przewidywań wskazanych w Scenariuszu referencyjnym. Taki scenariusz wymusza ograniczenie zużycia energii w ogóle,

a węgla w szczególności. Szczegóły przewidywanej struktury zapotrzebowania na energię pierwotną w przypadku realizacji takiego scenariusza przedstawia tabela 5.

Tabela 5

Światowy popyt na energię pierwotną w Scenariuszu 450 według World Energy Outlook do 2030 roku, Mtoe

Nośnik energii/ źródło energii	Lata		
	2007	2020	2030
Węgiel	3 184	3 507	2 614
Ropa naftowa	4 093	4 121	4 250
Gaz ziemny	2 512	2 868	2 941
Energia jądrowa	709	1 003	1 429
Odnawialne*	1 515	2 101	3 155
RAZEM	12 013	13 600	14 389

*obejmuje energię wody, biomasę, odpady i inne źródła odnawialne
Źródło: [15]

Prognoza ta zakłada 47-procentową redukcję wielkości zapotrzebowania na węgiel w porównaniu ze scenariuszem referencyjnym oraz obniżenie zapotrzebowania na gaz ziemny i ropę naftową o odpowiednio 17 i 15%. Przewidywany jest dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii (zwłaszcza energii wiatru i energii słonecznej) oraz rozwój użytkowania energii jądrowej.

W Scenariuszu 450 przewidywany jest znaczący regres w użytkowaniu węgla, niemniej jednak poziom zapotrzebowania na ten surowiec pozostanie na poziomie wyższym niż zanotowany w 1990 roku, co więcej aż do 2020 roku przewidywany jest wzrost zapotrzebowania na węgiel z poziomu około 3,2 Gtoe w roku 2007 do około 3,5 Gtoe w roku 2020.

Na tle prognoz światowych prognoza polskiego zapotrzebowania na energię pierwotną jest znacząco odmienna (tab. 6).

Tabela 6

Zapotrzebowanie na energię pierwotną Polski w podziale na nośniki, Mtoe

Nośnik energii/ źródło energii	Lata					
	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Węgiel brunatny	12,6	11,2	12,1	9,4	11,2	9,7
Węgiel kamienny	43,8	37,9	35,3	34,6	34,0	36,7
Ropa naftowa	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
Gaz ziemny	12,3	12,0	13,0	14,5	16,1	17,2
Energia jądrowa	0,0	0,0	0,0	2,5	5,0	7,5
Odnawialne źródła energii*	5,7	7,0	9,3	13,3	15,2	16,3
RAZEM	98,7**	93,2	95,8	101,7	111,0	118,5

*plus pozostałe paliwa
**z uwzględnieniem eksportu energii elektrycznej w wysokości 0,9 Mtoe
Źródło: [16]

W 2006 r. w Polsce zapotrzebowanie na energię pierwotną w prawie 58% oparte było na krajowych zasobach węgla kamiennego i brunatnego. W prognozach na następne lata udział węgla w strukturze pierwotnych nośników energii ulega obniżeniu, ale w roku 2030 pozostaje on na poziomie 39,2%.

Węgiel w przeważającej ilości wykorzystywany jest do wytwarzania energii elektrycznej.

W 2007 r. w świecie wyprodukowano około 18 PWh (1.10¹⁵Wh), z tego na węgiel kamienny przypadało 36%, na węgiel brunatny – 4%, ropę naftową – 6%, gaz ziemny – 20%, paliwo jądrowe – 15%, odnawialne źródła energii (hydro+inne) – 19% [17].

W tabeli 7 podano ilości energii elektrycznej otrzymanej z węgla w niektórych krajach Unii Europejskiej. Około 92% energii elektrycznej Polska otrzymuje z węgla (kamiennego i brunatnego).

Wysoki udział węgla w produkcji energii elektrycznej notują również Czechy (59%) i Grecja (53%). Natomiast we Francji tylko 4% energii elektrycznej jest otrzymywanej z węgla. W Unii Europejskiej w 2006 r. na ogólną ilość ponad 3,35 PWh wytworzonej energii elektrycznej, 29% przypadało na węgiel, a więc ponad 970 TWh.

Tabela 7

Ilości energii elektrycznej wytwarzanej z węgla w 2006 r. w niektórych krajach Unii Europejskiej, TWh

Kraj	Ilość produkowanej energii, ogółem, TWh	Ilość energii elektrycznej otrzymywanej z węgla, %
Polska	162	92
Czechy	84	59
Grecja	61	53
Niemcy	637	42
Bułgaria	46	42
Rumunia	63	40
Wielka Brytania	388	38
Słowacja	31	17
Słowenia	15	36
Hiszpania	303	22
Węgry	36	20
Włochy	314	14
Francja	579	4
UE – 27	3 358	29

Źródło: [18]

W 2007 roku Unia Europejska zużyła 2,6 Gtpu energii pierwotnej, w tym około 18% stanowił węgiel, a więc około 470 Mtoe.

Z tabeli 3 wynika, że kraje UE wydobyły (2007) tylko 152 Mt węgla kamiennego. Niedobór energii chemicznej uzupełniony został węglem brunatnym i importem węgla kamiennego spoza Unii.

Import węgla kamiennego do UE-27 w latach 2006–2008 przedstawiono w tabeli 8.

Import węgla do Unii w 2008 r. wyniósł 221,1 Mt i zmniejszył się w porównaniu z rokiem 2006 o 14 Mt, co stanowi około 6-procentowy spadek. Trzy kraje: Niemcy, Wlk. Brytania i Włochy sprowadzają ponad 130 Mt węgla, co stanowi około 60% całego importu węgla kamiennego do Unii. Import węgla kamiennego ma tendencję rosnącą również w Polsce, która jest największym producentem węgla w Unii Europejskiej.

Tabela 8

Import węgla kamiennego do krajów Unii Europejskiej w latach 2006-2008, Mt

Państwo	Lata		
	2006	2007	2008
Niemcy	46,5	47,5	46,2
Wielka Brytania	49,0	43,4	42,8
Włochy	24,5	24,6	26,7
Francja	20,7	19,2	21,4
Hiszpania	22,6	20,8	16,5
Holandia	12,0	13,0	12,8
Polska	5,2	5,8	8,9
Dania	7,0	8,0	7,7
Belgia	9,0	8,0	6,0
Słowacja	5,6	5,3	4,9
Finlandia	7,0	7,0	4,6
Austria	4,0	4,0	4,2
Portugalia	5,7	5,5	3,8
Rumunia	3,3	3,3	3,2
Szwecja	3,0	3,2	2,5
Irlandia	3,0	3,0	2,3
Czechy	1,9	2,5	2,2
Węgry	1,9	2,0	1,9
Bułgaria	1,6	1,4	1,3
Pozostałe kraje	2,6	3,3	2,2
OGÓŁEM UE	236,1	230,8	222,1

Źródło: [5]

Globalny eksport węgla kamiennego w 2007 r. wyniósł 907 Mt, a w 2008 r. – 930 Mt. Głównymi eksporterami węgla kamiennego (2008 r.) są: Australia – 261 Mt, RPA – 63 Mt, Chiny – 45 Mt, Kanada – 33 Mt, Wietnam – 20 Mt, pozostałe kraje – 68 Mt. Polska wyeksportowała 9 Mt węgla kamiennego – wielkość porównywalną z wielkością importu tego surowca.

Unia Europejska coraz bardziej jest uzależniona od importu pierwotnych nośników energii, pokazuje to tabela 9. Stopień uzależnienia od importu pierwotnych nośników energii w 2005 r. wynosił 52%, a w 2020 r. prognozowany jest na poziomie 64%.

Tabela 9

Uzależnienie Unii Europejskiej od importu pierwotnych nośników energii, %

Nośnik energii	Lata			
	2005	2010	2020	2030
Ropa naftowa	82	86	93	95
Gaz ziemny	56	64	76	84
Węgiel	40	48	59	63
Ogółem	52	56	64	67

Źródło: [19]

Rola węgla w Polsce

Polski sektor energetyczny stoi obecnie przed poważnymi wyzwaniem. Wysokie zapotrzebowanie na energię, nieadekwatny poziom rozwoju infrastruktury wytwórczej i transportowej paliw i energii, znaczne uzależnienie od zewnętrznych dostaw gazu ziemnego i niemal pełne od zewnętrznych dostaw ropy naftowej

oraz zobowiązania w zakresie ochrony środowiska, w tym dotyczące klimatu, powodują konieczność podjęcia zdecydowanych działań zapobiegających pogorszeniu się sytuacji odbiorców paliw i energii.

Jednocześnie w ostatnich latach w gospodarce światowej wystąpiło wiele niekorzystnych zjawisk. Istotne wahania cen surowców energetycznych, rosnące zapotrzebowanie na energię ze strony krajów rozwijających się, poważne awarie systemów energetycznych oraz wzrastające zanieczyszczenie środowiska wymagają nowego podejścia do prowadzenia polityki energetycznej.

Dokument rządowy „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” [16] został przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku. Odpowiada on na najważniejsze wyzwania stojące przed polską energetyką w najbliższym czasie, a także przedstawia długoterminową wizję rozwoju sektora.

Podstawowymi kierunkami polskiej polityki energetycznej są:

- poprawa efektywności energetycznej,
- wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii,
- dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej,
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw,
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii,
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Realizując działania zgodnie z tymi kierunkami, polityka energetyczna będzie dążyła do wzrostu bezpieczeństwa energetycznego kraju przy zachowaniu zasady zrównoważonego rozwoju.

Warto podkreślić, że przyjęte kierunki polityki energetycznej są w znacznym stopniu współzależne. Poprawa efektywności energetycznej ogranicza wzrost zapotrzebowania na paliwa i energię przyczyniając się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego na skutek zmniejszenia uzależnienia od importu, a także działa na rzecz ograniczenia wpływu energetyki na środowisko poprzez redukcję emisji. Podobne efekty przynosi rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym zastosowanie biopaliw, wykorzystanie czystych technologii węglowych oraz wprowadzenie energetyki jądrowej.

Polska posiada znaczne zasoby węgla, które będą pełnić funkcję stabilizatora bezpieczeństwa energetycznego kraju, co ma szczególne znaczenie wobec uzależnienia polskiej gospodarki od importu gazu (w ponad 70%) i ropy naftowej (w ponad 95%).

W sektorze elektroenergetycznym węgiel ma pozycję dominującą. W 2008 roku około 90% energii elektrycznej jest wytwarzane z węgla kamiennego (55%) i brunatnego (35%). Jednakże ze względu na zobowiązania międzynarodowe, w szczególności związane z pakietem klimatycznym, jego udział w bilansie energetycznym będzie się stale zmniejszał.

Dla zapewnienia ograniczenia emisji dwutlenku węgla zaplanowano budowę energetyki jądrowej, która zdywersyfikuje bilans paliwowy do produkcji energii elektrycznej.

Warto zauważyć, że pomimo spadku udziału węgla w bilansie energetycznym, to paliwo pozostaje kluczowe dla sektora energetycznego, gwarantując bezpieczeństwo energetyczne Polski i będzie mieć pozytywny wpływ na bezpieczeństwo energetyczne Unii Europejskiej.

Głównym celem polityki energetycznej w tym obszarze jest racjonalne i efektywne gospodarowanie złożami węgla znajdującymi się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Ze względu na stopniowe szczypanie się zasobów węgla kamiennego i brunatnego w obecnie eksploatowanych złożach, planowane jest w horyzoncie do 2030 roku przygotowanie i rozpoczęcie eksploatacji nowych złóż. Z tego względu konieczne jest zabezpieczenie dostępu do zasobów strategicznych węgla, m.in. poprzez ochronę obszarów ich występowania przed dalszą zabudową infrastrukturalną niezwiązaną z energetyką i ujęcie ich w koncepcji zagospodarowania przestrzennego kraju, miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego oraz długookresowej strategii rozwoju.

Polityka energetyczna ukierunkowana będzie także na dywersyfikację dostaw surowców i paliw, rozumianą również jako różnicowanie technologii, a nie jak do niedawna – jedynie różnicowanie kierunków dostaw. Dlatego ważnym kierunkiem rozwoju wskazanym w polityce energetycznej jest rozwój czystych technologii węglowych.

Perspektywy wykorzystania węgla

Węgiel kamienny wraz z węglem brunatnym są i będą stanowić gwarancję polskiego bezpieczeństwa energetycznego.

Niestety, spalanie węgla przyczynia się do wysokich emisji dwutlenku węgla, które są przedmiotem coraz bardziej restrykcyjnych regulacji unijnych, ze względu na potęgający się efekt cieplarniany.

Węgiel kamienny i brunatny mają największe jednostkowe emisje dwutlenku węgla spośród pozostałych pierwotnych nośników energii: węgiel kamienny – 94,6 kg CO₂/GJ, węgiel brunatny – 101,2 kg CO₂/GJ, ropa naftowa – 74,07 kg CO₂/GJ, gaz ziemny – 56,1 kg CO₂/GJ.

Postęp w zakresie czystych technologii węglowych jest zatem istotnym elementem, który przesądzi o roli polskiego węgla nie tylko w gospodarce Polski, ale również w gospodarce Unii Europejskiej.

Przewidywane kierunki rozwoju to:

- minimalizacja emisji na drodze wychwytu i sekwestracji dwutlenku węgla,
- opanowanie efektywniejszych technologii spalania węgla,
- rozwój procesów konwersji surowca węglowego na szereg produktów (energia elektryczna, ciepło, chłód, produkty syntezy chemicznej, wodór),
- hybrydyzacja obecnych struktur technologicznych z potencjałem nowych technologii (wykorzystanie ogniw paliwowych).

Rozwój tych kierunków stworzy warunki do dalszego wykorzystania posiadanych przez Polskę zasobów węgla dla potrzeb gospodarki narodowej oraz pozwoli na intensyfikację wewnętrznego wykorzystania tego surowca dla zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Wspólnoty.

Metoda CCS

Szczególnie obiecująca jest technologia wychwyty i składowania dwutlenku węgla (CCS).

Istnieje szereg technologii umożliwiających otrzymanie strumienia CO₂ [20-23], takich jak: wychwytywanie przed spalaniem (precombustion capture), tlenowe spalanie węgla (oxy fuel combustion) oraz wychwytywanie po spalaniu (post combustion capture). Wszystkie te procesy powodują znaczące obniżenie sprawności układów wytwarzania energii elektrycznej.

Technologiami, które mogą być stosowane do oddzielania CO₂ ze spalin emitowanych z dużych źródeł są [24]: absorpcja (chemiczna i fizyczna), adsorpcja, separacja membranowa, kriogenika, ogniwa paliwowe.

Główne metody sekwestracji to [25, 26]: unieszkodliwianie w ekosystemach ziemskich, sekwestracja geologiczna oraz mineralna karbonatyzacja.

Unieszkodliwianie CO₂ przez ekosystemy jest jedną z możliwości redukcji jego emisji do atmosfery. Węgiel jest przechowywany w biomasie ponad ziemią (drzewa, rośliny) i poniżej (gleba, korzenie, mikroorganizmy). Pojemność ekosystemów jest jednak ograniczona, dlatego też dąży się do zalesiania nowych terenów, ochrony terenów zielonych, rekultywacji terenów zdegradowanych itp.

Składowanie CO₂ w głębokich strukturach geologicznych jest obecnie przedmiotem wielu publikacji [27-31]. Rozważane jest podziemne składowanie dwutlenku węgla w głębokich poziomach wodonośnych, eksploatowanych i szcerpanych złożach węglowodorów płynnych i gazowych oraz głębokich nie-eksploatowanych pokładach węgla.

Mineralna karbonatyzacja jest jedną z metod sekwestracji CO₂ i polega na reakcji CO₂ z występującymi w przyrodzie minerałami bądź odpadami mineralnymi, w wyniku których powstają trwałe związki węglanowe [32-34].

Należy zaznaczyć, że metoda CCS jest na wczesnym etapie rozwoju i wymaga wypracowania rozwiązań obniżających wysokie koszty jej stosowania i pozwalających na przejście z obiektów o małej, doświadczalnej skali, na skalę obiektów przemysłowych. Dlatego bardzo istotna jest realizacja projektów demonstracyjnych w Polsce w ramach Programu Flagowego Unii Europejskiej. Ważne jest zintensyfikowanie badań naukowych i prac rozwojowych nad CCS oraz technologiami pozwalającymi stosować wychwyty dwutlenku węgla jako surowiec w innych gałęziach przemysłu lub wykorzystywać go do wspomaganie wydobycia ropy naftowej i gazu ziemnego.

Efektywniejsze technologie spalania węgla

Wciąż podstawowym procesem użytkowania węgla jest jego spalanie. Obecnie więcej niż połowa węgla (kamiennego i brunatnego) przeznaczona jest do produkcji energii elektrycznej. Dlatego poprawa technologii spalania węgla ma zasadnicze znaczenie dla obniżenia emisji dwutlenku węgla w przyszłości, zwłaszcza że popyt na węgiel będzie się z upływem czasu zmieniać i przesuwać w kierunku od państw uprzemysłowionych do państw rozwijających się (przejście przez fazę industrializacji). Tendencje te będą się nasilać w warunkach występowania ograniczeń w spalaniu węgla w krajach wysoko uprzemysłowionych z powodów ekologicznych [10].

Obecnie stosowanych jest (w większym lub mniejszym zakresie) kilka technologii energetycznego wykorzystania węgla, od najprostszych po technologicznie zaawansowane technologie spalania węgla [35]:

- blok energetyczny kocioł-turbina na parametry podkrytyczne 17,0 MPa/540°C,
- blok energetyczny kocioł-turbina na parametry nadkrytyczne 24,6 MPa/565°C,
- blok energetyczny kocioł-turbina na parametry ultranadkrytyczne 31,6 MPa/595°C,
- atmosferyczny kocioł fluidalny ze złożem cyrkulacyjnym,
- blok gazowo-parowy PFBC (Preasurized Fluidized Bed Combustion), sprawność bloku 47%,
- blok gazowo-hybrydowy z reaktorem transportującym, sprawność bloku 49,7%.

Typowa elektrownia ciepłna na węgiel kamienny o sprawności wytwarzania 35% emituje 843 g CO₂ na 1 kWh wytworzonej energii elektrycznej. Natomiast wprowadzenie nowoczesnego, zaawansowanego bloku na parametry nadkrytyczne ASC (Advanced Super Critical) o sprawności rzędu 46% powoduje emisję 720 g CO₂/kWh, a więc redukcję emisji o około 24% [36].

Na uwagę zasługują zintegrowane układy gazowo-parowe IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle), gdyż posiadają wysoką sprawność termodynamiczną przemiany węgla na energię elektryczną oraz charakteryzują się niską emisją zanieczyszczeń do środowiska. W praktyce występuje szeroki program implementacji technologii IGCC.

Procesy konwersji węgla

Odgazowanie (piroliza). Proces prowadzony w wysokich temperaturach bez dostępu tlenu, w wyniku którego otrzymuje się karbonizat (koks, półkoks), ciekłe produkty węglowodorowe (smoła, prasoła, benzol, benzyna) oraz gaz (koksowniczy, wytłewny). Technologie odgazowania węgla nie zmieniają się generalnie. W nowych bateriach koksowniczych kładzie się nacisk na zastosowanie zabezpieczeń przed emisją szkodliwych substancji do atmosfery. Budowane są również baterie, gdzie powstający gaz koksowniczy nie jest poddawany przeróbce chemicznej, ale staje się paliwem do produkcji energii elektrycznej i ciepła [37].

Zgazowanie. Istnieje wiele odmiennych technologii zgazowania paliw stałych [38], w wyniku których powstają takie produkty, jak: substancje chemiczne, gazy syntetyczne, substytut gazu ziemnego SNG (Synthetic Natural Gas), energia elektryczna. Obecnie najbardziej intensywnie rozwijanymi technologiami zgazowania węgla są procesy wykorzystujące reaktory dyspersyjne [39]. Rozwijane są również (także w Polsce) technologie podziemnego zgazowania węgla.

Uwodornienie. Główną cechą uwodornienia jest działanie na węgiel rozpuszczalnikiem w odpowiednich warunkach wysokiego ciśnienia, podwyższonej temperatury i następnie przeprowadzenie hydrokrakingu w obecności wodoru i katalizatora. Produkty pierwotne są następnie poddawane dalszemu procesowi obróbki w celu otrzymania paliw silnikowych. Interesującym rozwiązaniem jest wykorzystanie ciepła wytwarzanego w wysokotemperaturowym reaktorze jądrowym HTR (High Temperature Reactor) do produkcji wodoru i tlenu w procesie elektrolizy lub termolizy wody. Wytworzony wodór wykorzystywany byłby w syntezach chemicznych bądź do napędu środków transportu, a tlen – w energetyce węglowej [40, 41].

Ogniwa paliwowe

Ogniwa paliwowe wymieniane są jako obiecujące technologie przyszłości w zaopatrzeniu w energię ze względu na swoją skuteczność i niewielki wpływ na środowisko przyrodnicze. Największe nadzieje wiąże się z wykorzystaniem wodoru jako paliwa do ogniw paliwowych. Ogniwa paliwowe dokonują bezpośredniej zamiany energii chemicznej paliwa na energię elektryczną w wyniku reakcji elektrochemicznej. Charakteryzują się wysoką sprawnością przetwarzania energii chemicznej wodoru na energię elektryczną, jak również możliwością współwytwarzania energii z generatorami innego typu (turbiny gazowe, mikro-turbiny) we wspólnym systemie o wysokiej sprawności. Istnieje możliwość budowy małych jednostek bezpośrednio u konsumentów lub w ich pobliżu (energetyka rozproszona). Ponadto jednym z perspektywicznych zastosowań ogniw paliwowych wodorowo-tlenowych jest sektor transportu samochodowego [42].

Wnioski

Polska dysponuje znaczącymi zasobami paliw stałych – węgla kamiennego i brunatnego. Jego wydobycie i tradycyjne wykorzystanie będzie z biegiem lat coraz bardziej ograniczone ze względów ekologicznych.

Wysoki udział paliw stałych w krajowym bilansie paliw pierwotnych poprawia samowystarczalność energetyczną kraju, ale wymusza konieczność inwestycji w nowoczesne technologie wytwarzania energii elektrycznej i ciepła oraz czyste technologie węglowe.

Jednym z priorytetów „Polityki energetycznej Polski do 2030 r.” jest utrzymanie znaczącej roli węgla kamiennego i węgla brunatnego dla energetyki oraz do procesów termochemicznej konwersji.

Większa czystość węgla oraz nowe (czyste) technologie spalania paliw kopalnych wydają się być uzasadnionymi ekonomicznie dla świata, gdyż oferują rozwiązanie istotnych problemów związanych z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych i zapewnieniem globalnej dostępności energii. Nowe technologie, nakierowane na bardziej przyjazne środowisku użytkowanie węgla, mają jednocześnie ogromne znaczenie dla samego węgla i jego przyszłego rozwoju – prowadzą bowiem do wzrostu akceptowalności tego surowca.

Polskie zasoby węgla kamiennego mogą stać się zasobem obniżającym zależność Unii Europejskiej od importu paliw, o ile rozwój procesów konwersji węgla osiągnie dojrzałość technologiczną i staną się one efektywne ekonomicznie.

Spośród technologii termochemicznej konwersji węgla istotne znaczenie będą miały technologie zgazowania węgla, gdyż wiąże się to ze wzrostem sprawności energetycznej procesów wytwarzania energii, jak również ze znaczącym obniżeniem emisji CO₂, a tym samym z powrotem szerokiego wykorzystania węgla.

Wdrożenie czystych technologii węglowych w Polsce umożliwi częściowe zastąpienie węglowodorów płynnych i gazowych w nadchodzących dekadach XXI wieku.

LITERATURA

- [1] Coal industry across Europe 2008. Eurocoal, Bruksela, 2008
- [2] Survey of Energy Resources. Interim Update, World Energy Council, Londyn, 2009
- [3] BP Statistical Review of World Energy, 2009
- [4] BP Statistical Review of World Energy, 2008
- [5] Verein der Kohlenimporteure, Euracoal members, 2008
- [6] Reserves, resources and availability of energy resources – Annual Report 2005, Available at: www.bgr.bund.de. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (Bundesanstalt für Geosciences für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Germany: BGR, 2007
- [7] Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce, według stanu na 31.12.2007 r., Ministerstwo Środowiska. Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2008
- [8] Gawlik L., Mokrzycki E., Uliasz-Bocheńczyk A.: Zasoby pierwotnych nośników energii w Polsce [w:] Energia w polityce gospodarczej. Wyd. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, 2010
- [9] Brendow K.: Global and regional coal demand perspectives to 2030 and beyond. The case of coal. Part I: Global analysis. Chapter 6. WEC, Londyn 2004

- [10] Gawlik L., Mokrzycki E., Ney R., 2007: Możliwości poprawy akceptowalności węgla jako nośnika energii. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 23, z. 3 specjalny, s. 105–118
- [11] Gawlik L., Soliński J., 2004: Zrównoważony globalny rozwój energetyczny – przypadek węgla. *Polityka Energetyczna* t. 7, z. 2, s. 5–27
- [12] Mokrzycki E., Ney R., Siemek J., 2008: Światowe zasoby surowców energetycznych – wnioski dla Polski. *Rynek Energii* nr 6, s. 2–13
- [13] Dubiński J.: Wyzwania stojące przed polskim górnictwem węgla kamiennego [w:] Konferencja nr 5: Bezpieczeństwo energetyczno-klimatyczne, Kraków, 9 listopada 2009. Cykl Konferencji Tematycznych: „Pracodawcy a Polska 2030”. Izba Gospodarcza Gazownictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2009
- [14] Fabian G., 2009: Światowe górnictwo a kryzys. Produkcja i handel węglem kamiennym w 2008 roku. *Biuletyn Górniczy*, nr 7-8, lipiec-sierpień 2009, s. 11-13
- [15] World Energy Outlook 2009. International Energy Agency. Organization for Economic CO – operation and Development (OECD), Paris, France, 2009
- [16] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki. Warszawa 2009
- [17] IEA Electricity Information, 2007
- [18] Yearly statistics 2007, Data as per: 06/2008, Eurostat, 2007
- [19] European Commission, EU Trends to 2030, update, 2007
- [20] Göttlicher G., Pruschek R., 1997: Comparison of CO₂ removal systems for fossil – fuelled power plant processes. *Energy Conversion and Management* vol. 38, p. 573–578
- [21] IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Part 3. Capture. Coordinating Lead Author: Kelly Thambimuthu, Mohammad Soltanieh, Juan Carlos Abandes, 2005
- [22] Thambimuthu K. i in.: CO₂ capture and reuse. Proceedings of IPCC Workshop Carbon Capture and Storage. Regina, 2002
- [23] Golomb D., Herzog H., Tester J., White D., Zemba S., 1990: Feasibility modeling and economics of sequestering power plant CO₂ emissions in deep ocean. Massachusetts Institute of Technology, Energy Laboratory, 1990, MIT –EL89–003
- [24] Mazurkiewicz M., Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., Piotrowski Z., Pomykała R., 2005: Metody separacji i wychwytywania CO₂. *Polityka Energetyczna* t. 8, z. specjalny, s. 527–538
- [25] Tarkowski R.: Geologiczna sekwestracja CO₂. Studia Rozprawy Monografie nr 132. Wyd. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2005
- [26] Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., 2005: Przegląd możliwości utylizacji ditlenku węgla. *Rocznik AGH Wiertnictwo, Nafta, Gaz* t. 22, z. 1, s. 373–378
- [27] Herzog H., 2000: The economics of CO₂ separation and capture. *Technology* 7, suppl., s. 13–23
- [28] Holloway S., 1996: An overview of the Joule II Project „The underground disposal of carbon dioxide”. *Energy Conservation and Management* 37, 1–2, s. 1149–1154
- [29] IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Part 5. Underground geological storage. Coordinating Lead Author: Sally Benson, Peter Cook, 2005
- [30] Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2003: Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla. *Przegląd Geologiczny* z. 5, s. 402–409
- [31] Drobek L., Bukowski M., Borecki T., 2008: Chemical aspects of CO₂ sequestration in deep geological structures. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24, z. 3/1, s.439–452
- [32] Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., 2006: Fly ashes from Polish Power Plants and Combined Heat Power Plants and conditions of their application for carbon dioxide utilization. *Chemical Engineering Research and Design* vol. 84, No A9, p. 837–842
- [33] Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., 2006: Utilization of carbon dioxide in fly and water mixtures. *Chemical Engineering Research and Design* vol. 84, No A9, p. 843–846
- [34] Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., Piotrowski Z., Pomykała R.: Składowanie CO₂ z zawiesinami popiołowo-wodnymi pod ziemią. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2007
- [35] Sablik J., (red.): Model ekologicznego i ekonomicznego prognozowania wydobycia i użytkowania czystego węgla. Tom 1: Bazy i prognozy gospodarki surowcami energetycznymi oraz strategię i kierunki rozwoju sektora paliwowo-energetycznego. Tom 2: Efektywność technologii czystego spalania węgla. Praca zbiorowa. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2004
- [36] Spalding D., 2005: Węgiel, nowe paliwo ekologiczne? *Elektroenergetyka* nr 4, s. 32–40
- [37] Karcz A., 2007: Koksownictwo – przemysł z perspektywą? *Karbo* nr 2, s. 81–84
- [38] Dreszer K., Mikulska B. (red.): Studium wykonalności projektu instalacji do produkcji paliw gazowych i płynnych z węgla kamiennego. Energoprojekt Katowice SA, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze 2009
- [39] Ściążko M., Dreszer K., 2009: Ocena możliwości wdrożenia nowych technologii przetwórstwa w Polsce. *Karbo*, nr 4, s. 206–216
- [40] Tajduś A., Dubiński J., Rogut J., 2007: Górnictwo węglowe jako siła napędowa rozwoju zaawansowanych technologii XXI wieku. *Górnictwo i Geoinżynieria* r. 31, z. 2, s. 603–613
- [41] Taczanowski S., 2007: Symbioza węgla z energią jądrową. *Karbo* nr 2, s. 116–119
- [42] Tomczyk P., 2009: Szanse i bariery rozwoju energetyki wodorowej. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2, s. 593 - 607