

INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIA
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Gospodarka węglem koksowym

Urszula OZGA-BLASCHKE

Wydawnictwo IGSMiE PAN ✧ Kraków 2010

RECENZENCI

Dr hab. inż. Andrzej STRUGAŁA, prof. nadzw. AGH

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

Adres Redakcji

31-261 Kraków, ul. J. Wybickiego 7

tel. 12-632-33-00; fax. 12-632-35-24

Redaktor Wydawnictwa: mgr Danuta Nikiel-Wroczyńska

Redaktor techniczny: Beata Stankiewicz

Opracowanie graficzne okładki: Beata Stankiewicz

© *Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN – Wydawnictwo*

© *Copyright by Urszula Ozga-Blaschke*

Kraków 2010

Printed in Poland

ISBN 978-83-60195-14-7

Spis treści

Wprowadzenie	5
1. Klasyfikacja technologiczna i rynkowa węgla koksowych	9
2. Wartość użytkowa węgla koksowego	15
2.1. Analiza wpływu parametrów jakościowych węgla koksowych	
na jakość koksu wielkopiecowego	15
2.1.1. Zawartość części lotnych w węglu [11, 12, 26, 34, 35, 37, 49, 67, 81, 64]	16
2.1.2. Parametry jakościowe określające zawartość balastu w węglu	17
2.1.3. Skład petrograficzny węgla i zdolność	
odbicia światła wityritu [12, 20, 26, 27, 35, 49, 57, 58, 81]	21
2.1.4. Właściwości koksotwórcze węgla [9, 20, 26, 34, 35, 38, 49, 61, 70, 81]	22
2.2. Wpływ procesu wzbogacania na jakość węgla koksowego	24
2.3. Relacje między jakością węgla koksowego a jego ceną rynkową	26
2.3.1. Rynek międzynarodowy	26
2.3.2. Rynek krajowy	30
3. Czynniki determinujące zapotrzebowanie na węgiel koksowy	33
4. Światowy rynek węgla koksowego	37
4.1. Światowa produkcja i zużycie węgla koksowego	37
4.2. Międzynarodowy handel węglem metalurgicznym	40
4.2.1. Podaż – główni eksporterzy	40
4.2.2. Popyt – główni importerzy	43
4.3. Perspektywy rozwoju światowego rynku węgla koksowego	44
5. Węgiel koksowy w Polsce	47
5.1. Krajowa baza zasobowa węgla koksowych	47
5.2. Jakość węgla koksowych produkowanych w kraju	50
5.3. Stan aktualny i prognozy rozwoju krajowej produkcji węgla koksowego	52
5.4. Struktura sprzedaży i zużycia węgla koksowego w kraju	55
5.5. Prognoza zapotrzebowania rynku krajowego na węgiel koksowy	58
Podsumowanie	63
Literatura	65

Wprowadzenie

Węgiel kamienny ma w gospodarce światowej kluczowe znaczenie zarówno jako podstawowy surowiec energetyczny, jak i jako jeden z ważniejszych surowców chemicznych. Podstawowym kierunkiem wykorzystania węgla jest proces spalania, w którym energia cieplna, uzyskana z przemiany energii chemicznej paliwa, może być w dalszym etapie wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej.

Drugim pod względem praktycznego użytkowania procesem jest odgazowanie węgla, którego głównym celem jest uzyskanie wysokowęglonego karbonizatu – koksu. Aktualnie jedyną branżą, posiadającą znaczący udział w światowym wykorzystaniu węgla w procesie energochemicznego przetwórstwa jest koksownictwo. Podstawowym surowcem dla branży koksowniczej jest węgiel koksowy, którego udział w światowych zasobach węgla kamiennego szacowany jest na około 10%. Przy obecnym poziomie światowej konsumpcji wystarczalność tych zasobów (*proven reserves*) ocenia się na około 100 lat [84]. W światowym wykorzystaniu węgla kamiennego ogółem, udział węgla koksowego kształtuje się od wielu lat na poziomie około 13%.

Najbardziej rozpowszechnioną metodą produkcji koksu jest technologia wysokotemperaturowego odgazowania (pirolizy) węgla koksowego w zespole komór koksowniczych (stanowiących baterię) ogrzewanych przeponowo bez dostępu powietrza.

W procesie koksowania węgla obok produktu podstawowego – koksu, powstają lotne produkty nazywane surowym gazem koksowniczym. W przeszłości surowy gaz był produktem traktowanym prawie na równi z koksem i wykorzystywany był jako surowiec chemiczny oraz gaz sieciowy (miejski). Został jednak wyparty przez gaz ziemny i obecnie traktowany jest jako produkt uboczny, którego wykorzystanie wpływa w istotny sposób na efektywność całego procesu.

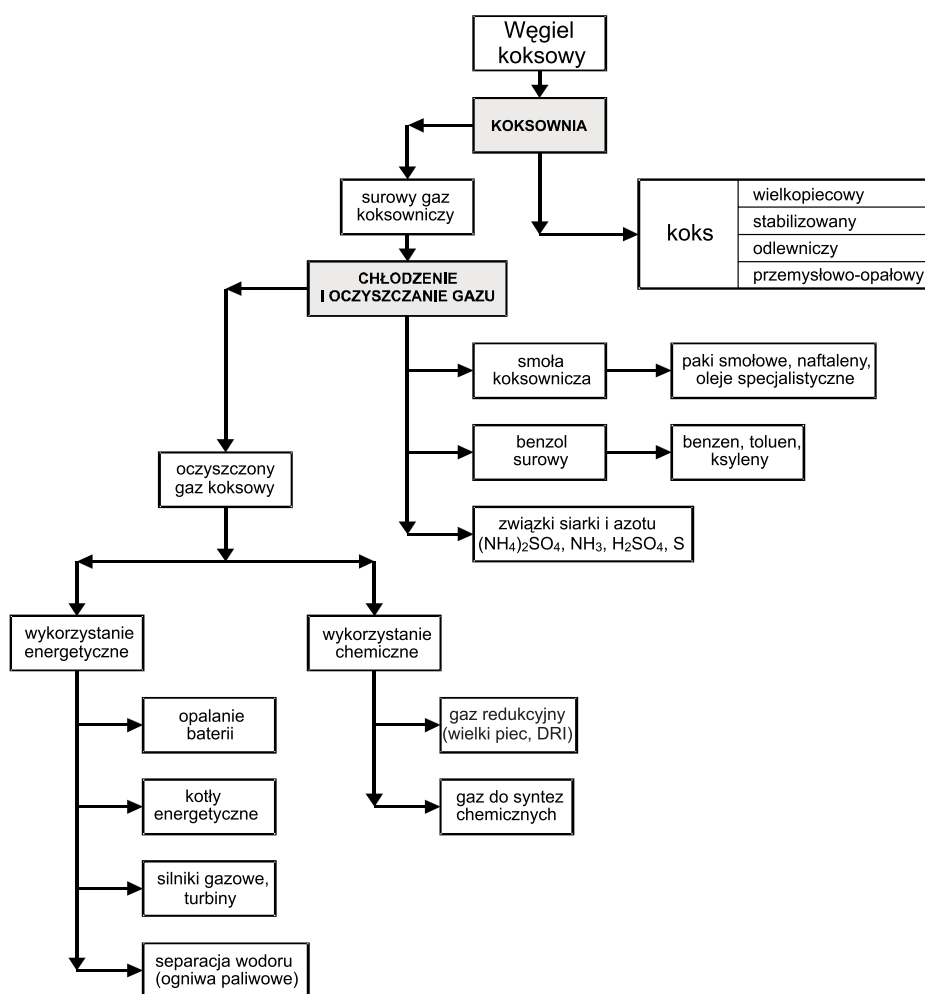
W klasycznej metodzie koksowania gaz koksowniczy poddawany jest (ze względów technologicznych i ekologicznych) procesowi chłodzenia i oczyszczania, w wyniku którego obok oczyszczonego gazu uzyskuje się szereg produktów finalnych, takich jak: smoła koksownicza, benzol surowy oraz siarka.

Oczyszczony gaz koksowniczy w znacznej części przeznaczony jest na potrzeby własne koksowni (opalenie baterii, wytwarzanie pary technologicznej, energii elektrycznej i ciepła), a jego nadmiar kierowany jest do odbiorców zewnętrznych. W przypadku koksowni zlokalizowanych przy hutach żelaza, głównymi odbiorcami nadmiarowego gazu koksowniczego pozostają wydziały hutnicze (spiekalnie, wielkie piece, stalownie, walcownie), gdzie wykorzystywany jest najczęściej jako paliwo, ale także jako reduktor.

Specyficzny skład chemiczny gazu koksowniczego, w którym suma udziału składników $H_2 + CO$ stanowi 65 do 70% objętościowych, skłonił do podjęcia odpowiednich analiz i badań nad wykorzystaniem gazu jako surowca do syntez chemicznych oraz źródła wodoru np. dla ogniw paliwowych.

Produkty uzyskiwane z węgla w procesie koksowania oraz kierunki ich wykorzystania przedstawia schemat na rysunku 1.

Alternatywą dla klasycznego procesu koksowania węgla w baterii pieców koksowniczych jest nowoczesna technologia produkcji koksu w procesie *non-recovery/heat recovery* czyli tzw. koksownia dwuproduktowa wyposażona w baterie typu Jewell-Thompson, zasadniczo różniące się budową i zasadą działania od klasycznych baterii koksowniczych. Produktami takiej koksowni jest koks oraz energia elektryczna. Cały otrzymywany w procesie koksowania surowy gaz koksowniczy poddawany jest w stanie gorącym kontrolowanemu spalaniu w komorach koksowniczych, a gorące spaliny kierowane są kolektorem do bloku energetycznego ulokowanego w bezpośrednim sąsiedztwie baterii. Tym sposobem wyeliminowane zostają koszty związane z oczyszczeniem surowego gazu koksowniczego, natomiast – podobnie jak w klasycznej elektrowni – oczyszczeniu poddawane są spaliny z bloku energetycznego.



Rys. 1. Produkty uzyskane z węgla koksowego w klasycznej technologii koksowniczej

Podstawowym produktem uzyskiwanym w każdej technologii koksowania węgla jest koks, którego uzysk (w przeliczeniu na wsad suchy) mieści się w granicach 70–80%.

Największym i kluczowym odbiorcą koksu jest sektor hutnictwa żelaza, gdzie wykorzystywany jest przede wszystkim do produkcji surówki żelaza w procesie wielkopiecowym, ale też do wytwarzania aglomeratów z rud żelaza (służących jako wsad wielkopiecowy) oraz do produkcji żelazostopów. Do tej grupy odbiorców należą również odlewnie (proces żeliwiakowy, wykorzystujący wysokiej jakości koks odlewniczy).

Pozostałe rodzaje produkowanego koksu stosowane są jako paliwo lub surowiec chemiczny w takich branżach, jak: hutnictwo metali nieżelaznych (cynku, ołowiu, miedzi), przemysł materiałów budowlanych (wapno, materiały izolacyjne), sektor spożywczy (cukrownie, suszarnie), chemiczny (gaz syntezowy, karbid) oraz gospodarka komunalna (koks opałowy).

Stabilna od wielu lat struktura zużycia koksu na świecie, z której wynika, że branża hutnicza ma w niej około 80% udział potwierdza, że w najbliższych dekadach dominującym odbiorcą koksu pozostanie nadal hutnictwo żelaza. Tak więc o poziomie zapotrzebowania na koks, a tym samym na węgiel koksowy, decydują takie czynniki, jak: wielkość produkcji stali surowej i udział stali produkowanej w procesie konwertorowym (z wykorzystaniem surówki wielkopiecowej) oraz wskaźnik jednostkowego zużycia koksu przy produkcji surówki. Problemy te zostaną omówione w kolejnych rozdziałach książki.

1. Klasyfikacja technologiczna i rynkowa węgla koksowych

Różnorodność kierunków użytkowania węgla stworzyła potrzebę opracowania odpowiednich klasyfikacji, których podstawą są naturalne cechy węgla, wynikające z jego stopnia uwęglenia oraz struktury chemicznej, charakteryzujące jego przydatność technologiczną.

Klasyfikacje bazują zazwyczaj na kilku wybranych parametrach jakościowych, czy cechach węgla, takich jak: kaloryczność (*calorific value*), zawartość substancji lotnych (*volatile matter content*), zawartość tzw. węgla stałego (*fixed carbon content*), zdolność do spiekania i koksowania (*caking and coking properties*) lub też na kombinacjach dwóch lub więcej wymienionych cech.

W większości krajów stosowane są wypracowane przez lata własne sposoby klasyfikacji, stąd też po wieloletnich pracach wprowadzono Międzynarodową Kodyfikację Węgla Kamiennych i Antracytów. W Kodyfikacji tej węgle są charakteryzowane 14-cyfrowym kodem, zawierającym charakterystykę ośmiu parametrów: średnia zdolność odbicia światła wityrytu (R , %), charakterystyka reflektogramu, zawartość grup macerałów inertynitu i liptynitu (I , L , %), wskaźnik wolnego wydymania (SI), zawartość części lotnych w stanie suchym i bezpopiołowym (V^{daf} , %), zawartość popiołu w stanie suchym (A^d , %), zawartość siarki całkowitej w stanie suchym (S_t^d , %), ciepło spalania w stanie suchym i bezpopiołowym (Q_s^{daf} , MJ/kg). Przyjęto zasadę, że cyfry kodów określają najmniejszą wartość danego parametru w przedziałach, na które podzielono zakresy wartości parametrów kodyfikacyjnych [13, 41].

W Polsce stosowane są specyficzne nazwy, oznaczenia i symbole, wynikające z tradycji oraz zapisów Polskich Norm. Aktualnie obowiązująca w Polsce klasyfikacja węgla kamiennego (PN-82/G-97002) uwzględnia w przypadku węgla koksowych pięć parametrów jakościowych: zawartość części lotnych V^{daf} , zdolność spiekania RI , dylatacja b , wskaźnik wolnego wydymania SI oraz zawartość inertynitu I , która jest parametrem uzupełniającym w przypadku podtypów 35.2A i 35.2B (tab. 1.1).

Zawartość części lotnych jest jedynym parametrem różnicującym wszystkie typy węgla kamiennych według PN, a przyjęte zakresy wartości V^{daf} dla poszczególnych typów powodują, że ich rozróżnienie jest mało precyzyjne.

Krajowa klasyfikacja nie uwzględnia parametrów pozwalających precyzyjnie określić stopień uwęglenia tj. średnią refleksyjność wityrytu R jak też skład petrograficzny (z wyjątkiem węgla typu 35.2). Współczynnik odbicia światła wityrytu ocenia stopień metamorfizmu węgla, ponadto przy jego wyznaczaniu uzyskuje się dodatkowe wskaźniki w rodzaju histogramu rozkładu refleksyjności oraz odchylenia standardowego, które są cenną informacją dotyczącą jednorodności badanego surowca [27, 57].

Od wielu lat toczy się dyskusja nad modyfikacją obecnej polskiej klasyfikacji węgla kamiennych (PN-82/G-97002 Węgiel kamienny. Typy), a w szczególności podziału klasyfi-

TABELA 1.1. Aktualna klasyfikacja węgla koksowych według PN-82/G-97002

Typ węgla		Parametry klasyfikacyjne			
Nazwa	Wyróżnik	zawartość części lotnych V_{daf} [%]	zdolność spiekania RI wg	dylatacja b wg PN [%]	wskaźnik wolnego wydymania SI wg
Węgiel gazowo-koksowy	34.1	powyżej 28	powyżej 55	brak dylatacji lub poniżej 0	nie normalizuje się
	34.2			powyżej lub równe 0	
Węgiel ortokoksowy	35.1	powyżej 26 do 31	powyżej 45	powyżej 30	
	35.2A*	powyżej 20 do 26		powyżej 0	powyżej 7,5
	35.2B*				poniżej lub równe 7,5
Węgiel metakoksowy	36	powyżej 14 do 20	powyżej 45	powyżej 0	nie normalizuje się
Węgiel semikoksowy	37.1	powyżej 20 do 28	powyżej lub równe 5	nie normalizuje się	
	37.2	powyżej 14 do 20			
Węgiel chudy	38	powyżej 14 do 28	poniżej 5		
Węgiel antracytowy	41	powyżej 10 do 14	nie normalizuje się		
Antracyt	42	powyżej lub równe 3 do 10			
Metaantracyt	43	poniżej 3			

* Uzupełniającym parametrem rozróżniającym węgiel typów 35.2A i 35.2B jest zawartość inertynitu, która w węglu typu 35.2A nie powinna przekraczać 30%.

kacyjnego węgla koksowych. Wymaga ona zaktualizowania chociażby ze względu na istotne zmiany w dostępnej bazie węglowej – np. w związku z likwidacją wydobywania węgla koksowych w kopalniach dolnośląskich, w efekcie w 1988 roku skreślone zostały z bilansu zasobów węgle antracytowe. Propozycje zmian w obecnie obowiązującej klasyfikacji były już przedmiotem dyskusji na odpowiednich forach, ale wynikające z nich wnioski nie przełożyły się jak dotąd na konkretne decyzje [41].

Jak wspomniano wcześniej, rozgraniczenie pomiędzy poszczególnymi rodzajami węgla różni się w systemach klasyfikacji poszczególnych krajów. Przykładem klasyfikacji regionalnych jest klasyfikacja węgla obowiązująca w Federacji Rosyjskiej (GOST 25543-88). Podział węgla kamiennych (*medium rank*) bazuje na dwóch parametrach – zawartości części lotnych V_{daf} oraz grubości warstwy plastycznej Y (wskaźnik Sapożnikowa). W tej grupie węgla występuje 15 typów oraz 21 grup (podtypów). W tabeli 1.2 pokazano klasyfikację węgla z zagłębia Kuźnieckiego [72, 95].

Klasyfikacja amerykańska – według ASTM (tab. 1.3) – bazuje na parametrze FC (*fixed carbon*), (nie stosowanym w polskiej klasyfikacji), zawartości części lotnych w stanie suchym bez substancji mineralnych (*dry, mineral matter free V_{dmmf}*) oraz ciepła spalania (*gross calorific value*) [94].

1. Klasyfikacja technologiczna i rynkowa węgla koksowych

TABELA 1.2. Klasyfikacja rosyjskich węgla kamiennych (GOST 25543-88)

Typ	Nazwa typu	V _{daf} [%]	Grubość warstwy plastycznej Y [mm]
D (dlinnoplamiennyj)	Candle coal	>37	–
G (gazowyj)	Gas coal (G6)	>37	6–16
	Gas coal (G7)	>37	6–25
GZh (gazowyj żirnyj)	Gas fat coal	31–37	6–25
Zh (żirnyj)	Fat coal 1Zh26	>33	>26
	Fat coa 2Zh26	<33	>26
KZh (koksowyj żirnyj)	Coking fat coal KZh14	25–31	14–25
	Coking fat coal KZh6	25–31	6–13
K (koksowyj) K2 (koksowyj wtoroj)	Coking coal K13	<25	13–25
	Coking coal K10	17–25	10–12
	Coking coal K2	17–25	6–9
KO (otoszczennyj koksowyj)	Coke semi-lean coal	24–28	10–12
OS (otoszczennyj spiekajuszczijisia)	Semi-lean caking coal (semi-soft)	<17	6–9
SS (slabospiekajuszczijisia)	Weakly caking coal 1SS	25–37	–
	Weakly caking coal 1SS	17–25	–
T (toszczij)	Lean coal	<17	–

Źródło: [95]

TABELA 1.3. Klasyfikacja węgla według ASTM (*Classification of Coals by Rank*)

Klasa/Grupa	*FC _{dmmf} % (dry mineral matter free basis)	V _{dmmf} % (dry mineral matter free basis)	Gross calorific Value MJ/kg
Antracyty			
Meta – antracyt	>98	<2	
Antracyt	92–98	2–8	
Semi-antracyt	86–92	8–14	
Bitumiczne			
LV (Low Volatile)	78–86	14–22	
MV (Medium Volatile)	69–78	22–31	
HV A (High Volatile)	<69	>31	>32,6
HV B (High Volatile)	–	–	30,2–32,6
HV C (High Volatile)	–	–	26,7–30,2

* FC_{dmmf} = 100 – V_{dmmf}

Źródło: [94]

Węgle koksowe należą do grupy węgla bitumicznych: LV, MV i HVA, natomiast węgle energetyczne do HVB i HVC.

W klasyfikacji stosowanej w Kanadzie [55] węgle bitumiczne dzieli się na 3 grupy:

- **LV** – węgle o niskiej zawartości części lotnych – $V^{dmmf} < 22\%$ (lub $V^{daf} < 23\%$), refleksyjność 1,51–1,92%,
- **MV** – węgle o średniej zawartości części lotnych – $V^{dmmf} 22\text{--}31\%$ (lub $V^{daf} 23\text{--}32,5\%$), refleksyjność 1,12–1,51%,
- **HV** – węgle o wysokiej zawartości części lotnych – $V^{dmmf} > 31\%$ (lub $V^{daf} > 32,5\%$) refleksyjność 0,50–1,12%.

W statystykach międzynarodowych, przykładowo podawanych przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA – *International Energy Agency*), węgiel koksowy (*coking coal*) jest definiowany jako węgiel kamienny o takiej jakości, która umożliwia produkcję koksu odpowiedniego dla wielkich pieców, natomiast pozostały węgiel kamienny, który nie jest węglem koksowym, jest traktowany jako węgiel energetyczny (*steam coal*, *steaming coal* albo *thermal coal*, niekiedy *power coal*) [73].

W praktyce przemysłowej i handlowej wyróżnia się właściwie dwie kategorie węgla kamiennego – węgiel energetyczny i węgiel koksowy. Z punktu widzenia kryteriów rynkowych głównym wskaźnikiem rozróżnienia kategorii nie są cechy fizykochemiczne, ale sfery użytkowania węgla: hutnictwo żelaza i stali (koksownie), energetyka (elektrownie, elektrociepłownie) oraz inne gałęzie przemysłu (poza hutnictwem), transport, bezpośrednie opalanie węglem.

W handlu międzynarodowym węgiel, którego głównym użytkownikiem jest przemysł hutniczy określany jest często jako węgiel metalurgiczny (*metallurgical coal*). Do kategorii tej zaliczane są [50, 51]:

- węgle koksowe typu *premium hard*, *hard* i *semi-hard* o bardzo dobrych właściwościach koksotwórczych, stosowane do produkcji wysoko gatunkowego koksu metalurgicznego; węgle *premium hard* charakteryzują się niską zawartością części lotnych, najlepszymi właściwościami koksotwórczymi i wysokim wskaźnikiem CSR; węgiel *semi-hard* cechuje wyższa zawartość popiołu i niższa spiekalność w porównaniu z węglem *hard* oraz niższa wartość wskaźnika CSR czyli wytrzymałości poreakcyjnej koksu otrzymanego z tego węgla;
- węgle koksowe *semi-soft* – nie nadające się samodzielnie do produkcji koksu, charakteryzujące się słabszymi właściwościami koksotwórczymi, stosowane jako dodatek do mieszanek koksowniczych;
- węgle PCI stosowane w hutnictwie w technologii wdmuchu pyłu węglowego do wielkiego pieca – charakteryzujące się odpowiednio niską zawartością popiołu i wilgoci wewnętrznej, niską zawartością zanieczyszczeń (siarki, fosforu, chloru, alkaliów) oraz dobrą zdolnością przemiałową; do grupy tej zaliczane są zarówno węgle o dużej zawartości części lotnych HV (często węgle energetyczne), jak i o bardzo wysokim stopniu uwęglenia (LV, ultra LV, semi-antracyty).

Niektóre kraje, jak Francja czy Turcja, zaliczają węgle PCI do węgla energetycznych, podczas gdy w statystykach innych krajów, takich jak Australia, USA, Japonia, Belgia, Niemcy, Włochy czy Wielka Brytania klasyfikowane są w grupie węgla metalurgicznych.

Porównanie typowej charakterystyki jakościowej węgla *hard*, *semi-hard* i *semi-soft* w klasie o średniej zawartości części lotnych MV zestawiono w tabeli 1.4.

TABELA 1.4. Charakterystyka jakościowa węgla koksowych (MV) według klasyfikacji rynkowej

Parametry jakościowe	Typ <i>hard</i>	Typ <i>semi-hard</i>	Typ <i>semi-soft</i>
Zawartość wilgoci W_f [%]	<10,0	<10,0	<10,0
Zawartość popiołu A^d [%]	6,5–9,0	9,0–12,0	<10,0
Zawartość części lotnych V^d [%]	23–27	23–27	25–30
Zawartość siarki S^d [%]	<0,8	<0,8	<0,8
Zawartość fosforu P [%]	<0,08	<0,08	<0,08
Wolne wydymanie FSI	6–9	5–8	4–6
Wytrzymałość poreakcyjna CSR [%]	>60	>55	–
Refleksyjność wityrnytu R_p [%]	1,13–1,55	1,13–1,55	0,7–1,15

Źródło: [14]

Węgle *semi-soft*, o wysokiej zawartości części lotnych (HV) użytkowane są w branży koksowniczej (jako składnik mieszanek wsadowych), ale mogą też być kierowane na rynek węgla energetycznych. O kierunku ich wykorzystania decyduje wielkość zapotrzebowania i poziom cen węgla w danym segmencie rynku. W okresach, gdy popyt ze strony branży koksowniczej spada, a różnice między cenami węgla energetycznych i *semi-soft* ulegają spłaszczeniu, część producentów obniża koszty poprzez ograniczenie procesu wzbogacania i sprzedaje węgiel do odbiorców z sektora energetycznego. W sytuacji odwrotnej, gdy ceny węgla metalurgicznych znacznie przewyższają ceny węgla energetycznych, produkcja węgla ukierunkowana jest na głównie na branżę hutniczą [52].

2. Wartość użytkowa węgla koksowego

Efektywność ekonomiczna procesu koksowania jest determinowana uzyskiem i jakością podstawowego produktu, którym jest koks wielkopiecowy. Wielkości te zależne są przede wszystkim od jakości surowca węglowego użytego w procesie pirolizy, a w mniejszym stopniu od technologii koksowania. Wartość użytkową węgla koksowego określa więc zespół parametrów jakościowych charakteryzujących jego przydatność do procesu produkcji koksu.

Jakość koksu stosowanego w procesie wielkopiecowym jest jednym z głównych czynników, od których zależy stabilna i efektywna praca wielkiego pieca. Wzrost wymagań w stosunku do wartości poszczególnych wskaźników jakościowych koksu związany jest z intensyfikacją procesu wielkopiecowego i wprowadzeniem nowoczesnych technologii w hutnictwie, w tym głównie stosowaniu w coraz szerszej skali technologii PCI [3, 17].

Jakość koksu oceniana jest coraz większą liczbą parametrów, z których za najistotniejsze dla prawidłowej pracy wielkiego pieca uznaje się:

- wskaźniki charakteryzujące zawartość składników balastowych i zanieczyszczeń w koksie, w tym zawartość wilgoci, popiołu, siarki, fosforu, alkaliów oraz chloru,
- wskaźniki charakteryzujące uziarnienie koksu i jego rozkład,
- wskaźniki wytrzymałości mechanicznej M_{40} i I_{40} oraz ścieralności M_{10} i I_{10} ,
- reakcyjność koksu wobec CO_2 – CRI (*Coke Reactivity Index*) i wytrzymałość po-reakcyjną – CSR (*Coke Strength after Reaction*).

Podstawowym warunkiem uzyskiwania wysokiej jakości koksu wielkopiecowego jest odpowiednia i stabilna jakość węgla wsadowego, z którego jest produkowany. Wsad do produkcji koksu komponowany jest z kilku rodzajów węgla o kompatybilnych właściwościach kokso-twórczych, przy czym część z tych węgli stanowi tzw. bazę, inne pełnią rolę składników uszlachetniających oraz składników schudzających. Receptura mieszanek determinowana jest w głównej mierze wymaganiami jakościowymi odnośnie rodzaju produkowanego koksu, dostępnością węgla oraz technologią napełniania komór i sposobem chłodzenia koksu.

Proces kształtowania jakości wsadu węglowego do koksowania rozpoczyna się podczas wydobywania węgla w kopalniach i wzbogacania go w zakładach przerobczych, a następnie kontynuowany jest w koksowniach.

2.1. Analiza wpływu parametrów jakościowych węgla koksowych na jakość koksu wielkopiecowego

Węgiel tworzą: substancja organiczna węglowa, substancja mineralna i wilgoć. Ilościowa ocena udziału każdego z tych składników ma duże znaczenie, gdyż o wartości użytkowej węgla

decyduje przede wszystkim zawartość i jakość substancji organicznej, a pozostałe składniki stanowią kłopotliwy balast.

Ocena węgla obejmuje szereg oznaczeń charakteryzujących jego właściwości, przy czym w przypadku węgla koksowych za najważniejsze uznawane są te parametry, które w sposób istotny wpływają na uzysk oraz jakość koksu [49].

Do najważniejszych parametrów jakościowych określających wartość technologiczną węgla koksowego należą:

- wskaźniki analizy technicznej i elementarnej określające zawartość części lotnych oraz udział składników balastowych i zanieczyszczeń w węglu, a więc zawartość wilgoci całkowitej, popiołu, siarki całkowitej oraz fosforu – większość tych wskaźników ma charakter cech wtórnych kształtowanych przede wszystkim przez wzbogacanie węgla w procesie przeróbki mechanicznej;
- wskaźniki oceny mikroskopowej węgla tj. analiza petrograficzna oraz wielkość i rozkład współczynnika odbicia światła wityrytu;
- parametry jakościowe charakteryzujące właściwości koksotwórcze węgla, takie jak: spiekalność, dylatacja, plastyczność, ciśnienie rozprężania – cechy ukształtowane przede wszystkim w procesie naturalnego uwęglenia.

Coraz częściej w charakterystyce jakościowej węgla wymagane są wskaźniki CRI i CSR wyznaczone dla koksu otrzymanego z danego węgla.

2.1.1. Zawartość części lotnych w węglu [11,1 2, 26, 34, 35, 37, 49, 67, 81, 64]

Zawartość części lotnych przeliczona na stan suchy i bezpopiołowy V^{daf} jest najbardziej uniwersalnym wskaźnikiem charakterystycznym węgla i stanowi podstawę wszelkich klasyfikacji węgla według typów. Wskaźnik ten charakteryzuje stopień metamorfizmu węgla – im wyższy stopień uwęglenia tym mniej części lotnych zawiera dany węgiel. Istnieje wysoki stopień korelacji pomiędzy zawartością części lotnych a innymi wskaźnikami stopnia metamorfizmu węgla, np. współczynnikiem odbicia światła wityrytu R , czy też zawartością pierwiastka C^{daf} .

Zawartość części lotnych w powiązaniu z innymi właściwościami węgla pozwala ocenić jego rolę w procesie koksowania. Węgłe kamienne o zawartości V^{daf} od 20 do 26% reprezentują najlepsze właściwości koksotwórcze – dużą spiekalność, umiarkowaną lepkość masy plastycznej, mały skurcz. W miarę wzrostu stopnia metamorfizmu przy $V^{daf} < 20\%$ węgle posiadają coraz niższą spiekalność oraz plastyczność toteż stosowane są w mieszankach koksowniczych w małych ilościach, jako czynniki regulujące lepkość masy plastycznej i obniżające skurcz koksu (węgle schudzające). Zwiększona zawartość części lotnych powyżej 30% związana jest zazwyczaj z coraz gorszymi właściwościami koksotwórczymi.

Uzysk koksu jest determinowany jakością wsadu węglowego, w tym głównie udziałem termicznie nietrwałej części węgla (części lotnych), natomiast inne czynniki technologiczne przy normalnym prowadzeniu procesu mają mniejsze znaczenie. Zawartość części lotnych mieszanki koksowniczej stosowana jest do prognozowania uzysku koksu w warunkach przemysłowych.

Wzory empiryczne opracowane zostały dla konkretnych lokalnych warunków surowcowych i przemysłowych. Do najbardziej znanych można zaliczyć wzory Chanina, Bauera, Hülsbrucha, Mantela, Haarmana oraz Kustowa i Ginsburga [10, 11, 37, 49].

Dla polskich warunków surowcowych i produkcyjnych opracowany został wzór Karcza:

$$U_k^d = 86,39 - 0,37 \cdot V^d$$

w których: U_k^d – uzysk suchego koksu z suchej mieszanki wsadowej [%],
 V^d – zawartość części lotnych w mieszance (przeliczona na stan suchy) [%].

Na podstawie badań nad wyznaczaniem wskaźnika zużycia węgla w produkcji koksu urządzeniem Karbotest otrzymano zależność w postaci wzoru:

$$U_k^d = 98,73 - 0,873 \cdot V^d$$

Do prognozowania stosowane są również liczne wzory uwzględniające – oprócz zawartości części lotnych – wpływ warunków temperaturowych procesu koksowania na uzysk koksu (końcowa temperatura koksowania, średnia temperatura w kanałach grzewczych).

2.1.2. Parametry jakościowe określające zawartość balastu w węglu

Parametry jakościowe węgla określające zawartość popiołu, wilgoci, siarki w węglu wsadowym determinują ilość składników balastowych w koksie, wpływają na jakość produktów oraz zużycie ciepła w procesie koksowania.

Zawartość wilgoci [8, 26, 28, 32, 35, 42, 49, 81].

Zawartość wilgoci całkowitej W_t' składa się z wilgoci przemijającej W_{ex} (powierzchniowej, która jest sumą wilgoci kopalnianej i wody pozostającej w węglu po operacjach wzbogacania, transportu, składowania) oraz wilgoci higroskopijnej W_h (wewnętrznej, tzw. wilgoci węgla powietrzno-suchego) będącej cechą charakterystyczną danego typu węgla. Wilgoć wsadu węglowego oddziałuje na przebieg procesu koksowania, wpływając głównie na:

- produktywność baterii koksowniczych – przyjmuje się, że zmniejszenie wilgoci we wsadzie o 1% pozwala w przypadku technologii wsadu zasypowego na zwiększenie zdolności produkcyjnej baterii o 2–4%;
- zużycie ciepła i czas koksowania – przy wzroście wilgoci o 1% wzrost zużycia ciepła w odniesieniu do 1 kg węgla wsadowego wynosi około 1,8%, wymaga przedłużenia czasu koksowania o 20–30 min lub podwyższenia temperatury w kanałach grzewczych o około 25°C. Według innych autorów skrócenie czasu koksowania może wynosić 3% na każdy procent obniżki zawartości wody;
- ilość powstających silnie zanieczyszczonych wód ściekowych wymagających wielostopniowego oczyszczania. Z mieszanki węglowej o zawartości wilgoci w granicach 7–12%, powstają ścieki koksownicze w ilości odpowiednio 10–15% masy mieszanki;

- węgle o wyższej zawartości wilgoci zwiększają koszty transportu, powodują trudności przy rozładunku, mieleniu i obsadzaniu komór koksowniczych.

Poziom zawartości wilgoci całkowitej w koksowniczej mieszance węglowej ma pewne ograniczenia wynikające ze stosowanego systemu napełniania wsadem komór koksowniczych. W warunkach wsadu ubijanego, dla zapewnienia spoistości naboju węglowego zawartość wilgoci nie powinna być mniejsza niż 10%, gdyż grozi to niestabilnością formowanego naboju. Wysoka zawartość wilgoci jest natomiast bardzo niepożądana w przypadku technologii wsadu zasypowego, gdyż bardzo niekorzystnie wpływa na gęstość nasypową wsadu w komorze, a tym samym na jakość koksu i zdolność produkcyjną baterii.

Zawartość popiołu [1, 4, 5, 6, 26, 33, 47, 49, 62, 65, 81]

Popiół jest pojęciem umownym, określającym pozostałość po spaleniu węgla jako niepalną część substancji węglowej i tylko w sposób pośredni charakteryzuje substancję mineralną. Na substancję mineralną w węglu kamiennym składają się zawarte w nim nieorganiczne związki chemiczne (krzemiany, glinokrzemiany, węglany, siarczany i siarczki), które można podzielić na dwie grupy:

- substancja mineralna wewnętrzna, homogenicznie zmieszana, a niekiedy chemicznie związana z substancją organiczną węgla, której nie można usunąć metodami fizycznymi,
- substancja mineralna zewnętrzna, nie będąca jednorodną mieszaniną z substancją organiczną węgla, nierównomiernie rozmieszczona w jego masie, którą częściowo można usunąć z węgla na drodze przeróbki mechanicznej (wzbogacania węgla).

Ilość substancji mineralnej w węglu surowym jest zależna od właściwości złoża, z którego wydobyto węgiel oraz od sposobu prowadzenia eksploatacji górniczej, natomiast w produkcji handlowym wielkość ta jest kształtowana dodatkowo w procesie wzbogacania węgla na drodze przeróbki mechanicznej. Wzbogacanie węgla prowadzi do zmian ilościowych i jakościowych w substancji mineralnej węgla oraz powoduje pewne przesunięcia w składzie petrograficznym węgla w kierunku zwiększenia składników grupy wityritu przy równoczesnym zmniejszeniu udziału macerałów grupy inertytynu.

Obniżenie zawartości popiołu w węglach wsadowych poprawia właściwości koksotwórcze węgla i ich mieszanek (wzrasta spiekalność węgla oceniana liczbą Rogi *RI* oraz wskaźnikiem wolnego wydymania *SI*, poprawia się dylatacja węgla „*b*” oraz właściwości plastyczne), co daje możliwość pewnego oddziaływania na jakość koksu wielkopiecowego na etapie wzbogacania węgla w procesach przeróbki mechanicznej.

W procesie koksowania większość substancji mineralnej z węgla pozostaje w produkcie stałym. Popiół zawarty w koksie jest typowym balastem, który wraz z wilgocią obniża wartość opałową koksu.

Wzrost zawartości popiołu w mieszkankach koksowniczych wpływa na pogorszenie parametrów wytrzymałościowych koksu na skutek zwiększonej ilości mikropęknięć na granicy faz: substancja organiczna – substancja mineralna, osłabiając porowatą strukturę koksu. Niektóre składniki chemiczne popiołu w węglu wywierają niekorzystny wpływ na reakcyjność CRI i wytrzymałość poreakcyjną koksu CSR. W odniesieniu do wytrzymałości poreakcyjnej koksu stwierdzono, że redukcja w mieszance wsadowej zawartości popiołu o 1% powoduje wzrost wskaźnika CSR o 4,5%.

Zawartość popiołu w koksie wpływa znacznie na ekonomikę procesu wielkopiecowego. Wzrost zawartości popiołu w koksie powoduje obniżenie jego wartości opałowej. Dodatkowy popiół wprowadzony do wielkiego pieca powoduje wzrost ilości żużla, co prowadzi do zwiększenia zużycia koksu na 1 tonę produkowanej surówki. Ponadto popiół wymaga przeważnie dodatku topników, aby zasadowość żużla osiągnęła konieczny poziom.

Według obecnych szacunków wzrost popiołu o 1% powoduje wzrost zużycia koksu o 10 kg/Mg surówki i redukcję produktywności wielkiego pieca o około 2%.

Zawartość alkaliów i charakter chemiczny popiołu [2, 22, 23, 34, 36, 49, 59, 63]

Obecnie dużą uwagę zwraca się na skład chemiczny popiołu, szczególnie na zawartość związków powodujących wzrost reaktywności koksu na skutek katalitycznego oddziaływania w procesie zgazowania. Zawartość szkodliwych składników mineralnych w węglu, a zwłaszcza alkaliów Na_2O , K_2O i zasadowych związków Fe_2O_3 , CaO , MgO ogranicza możliwość otrzymania koksu wysokiej jakości. W warunkach temperaturowych panujących w komorach koksowniczych prawie cała ilość alkaliów zawartych w surowcu węglowym pozostaje w koksie. Duża zawartość alkaliów w koksie powoduje wzrost jego reaktywności wobec CO_2 oraz obniżenie wytrzymałości mechanicznej.

Wpływ zawartości popiołu i jego składu na reaktywność koksu, pokazuje przykładowo korelacja wskaźnika CRI ze wskaźnikiem zasadowości popiołu B_{Ash} [23]:

$$\text{CRI} = 13,2 + 15,9 \cdot B_{\text{Ash}}$$

lub [2]:

$$\text{CRI} = 11,197 + 10,873 \cdot B_{\text{Ash}}$$

gdzie:

$$B_{\text{Ash}} = \frac{\% \text{Ash} \cdot (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)}{100}$$

Im większa zasadowość popiołu tym większa jego reaktywność, co wpływa negatywnie na wytrzymałość poreakcyjną koksu.

Znane są równania, w których wytrzymałość poreakcyjna koksu CSR prognozowana jest na podstawie wybranych parametrów węgla koksowego (np. V^d , R_o , F_{max}) oraz indeksu alkaliczności popiołu.

Koks jest dostarczycielem 35–45% całości alkaliów wprowadzanych z materiałami wsadowymi do wielkiego pieca. **Alkalie** oddziałują katalitycznie na przebieg procesu zgazowania koksu podwyższając jego reaktywność. Następuje wzrost zużycia koksu w górnych strefach wielkiego pieca, co powoduje powstawanie nadmiernej ilości CO w gazie (niewykorzystanego właściwie w procesie redukcji), niepotrzebnie powiększającego kaloryczność gazu wielkopiecowego. Alkalie występujące w koksie, w temperaturze pracy wielkiego pieca, reagują z węglem pierwiastkowym koksu tworząc związki kompleksowe, które destrukcyjnie

wpływają na złożę koksu – następuje rozdrobnienie wsadu i pogorszenie jego przewodności. Ponadto alkalia cyrkulując wewnątrz wielkiego pieca kumulują się w dolnych jego partiach tworząc narosty, co niekorzystnie oddziałuje na materiały ogniotrwałe wymurówki. Okresowe odrywanie się narostów powoduje zaburzenia w rozkładzie temperatur w garze wielkiego pieca i przepalanie dysz doprowadzających dmuch oraz prowadzi do uszkodzenia garu wskutek jego gwałtownego ochłodzenia. Zjawiska te wpływają na spadek wydajności wielkiego pieca.

Zawartość siarki [1, 18, 26, 34, 35, 40, 49, 58, 81]

Siarka jest składnikiem węgla, wchodzącym w skład zarówno substancji organicznej jak i mineralnej węgla. W procesie koksowania związki siarki zawarte w węglu ulegają rozkładowi, część z nich przechodzi do produktów lotnych, a reszta pozostaje w koksie.

Siarka z wsadu węglowego w około 60% przechodzi do koksu i stanowi jedną z najbardziej szkodliwych domieszek, pogarszając parametry pracy wielkiego pieca, a także jakość surówki i stali – siarka przechodząc do metalu powoduje tzw. kruchość na gorąco. Szacuje się, że około 70–90% siarki w wielkim piecu wprowadzone jest z koksem. Związanie siarki przez zasadowe składniki żużla wymaga odpowiedniej ilości topników, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia zużycia koksu. Z doświadczeń przemysłowych wynika, że przyrost zawartości siarki całkowitej w koksie o 0,1% zwiększa zużycie topników o 1,2%, jednostkowe zużycie koksu o 0,3–1,1%, oraz zmniejsza wydajność wielkiego pieca o 2–3%. Obecnie w nowoczesnym procesie wielkopiecowym stosuje się wsad bogaty w żelazo. Spowodowane tym zmniejszenie ilości żużla pozbawia częściowo proces zdolności rafinacyjnych, takich jak usuwanie siarki z surówki. Zmniejszenie ilości czynnika odsiarczającego powoduje wzrost wymagań dotyczących małej zawartości siarki w koksie (poniżej 0,7%, lub 0,5% dla koksu kierowanego do wielkich pieców stosujących technologię PCI).

Część siarki z węgla przechodzi w formie siarkowodoru do gazu koksowniczego i ze względu na jego dalsze użytkowanie musi być z niego usunięta, co pociąga za sobą dodatkowe koszty.

Zawartość fosforu [17, 26, 35, 49, 81]

Zawartość fosforu w węglu nie przekracza 0,3%, a na ogół mieści się w granicach 0,06–0,002%, ma jednak istotny wpływ na jakość produkowanego z niego koksu. Obecność fosforu w koksie wielkopiecowym znacznie pogarsza właściwości surówki oraz produkowanej stali, powodując jej kruchość na zimno. Prawie całkowita zawartość fosforu z węgla przechodzi do koksu, a następnie do surówki. Z uwagi na to, że związki fosforu są ściśle związane z substancją organiczną węgla i nie można ich usunąć w procesie mechanicznego wzbogacania, jedynym sposobem obniżenia udziału tego pierwiastka w mieszance wsadowej jest odpowiedni dobór komponentów mieszanki. Wymagania odbiorców koksu odnośnie zawartości fosforu są dość rygorystyczne i ograniczają zakres do 0,060–0,065%. W związku z tym mieszanka węglowa nie powinna zawierać więcej niż 0,040–0,045% fosforu. W przypadku najnowocześniejszych technologii wielkopiecowych wymagania dotyczące zawartości fosforu w koksie są jeszcze bardziej restrykcyjne – zawartość fosforu nie może przekraczać 0,025%.

Zawartość chloru [39, 42, 58, 62, 65, 81]

Chlor jest pierwiastkiem powszechnie występującym w węglu, a jego zawartość zależy od warunków powstawania złoża. Badania wykazały wzrost zawartości chloru w węglu wraz ze zwiększaniem się głębokości zalegania złóż oraz wzrostem stopnia metamorfizmu.

W procesie koksowania zawarty w węglu chlor (w ilości od 40 do 60%) wydostaje się z komory gazowej wraz z gazem. Na ilość chloru zawartego w gazie ma wpływ sposób prowadzenia procesu koksowania oraz formy powiązania chloru ze strukturą stosowanego węgla. Chlor – wydzielając się głównie w postaci chlorowodoru – miesza się z innymi składnikami gazu powstającymi w tym procesie. W temperaturze poniżej 340°C Cl łączy się z obecnym w gazie amoniakiem tworząc NH_4Cl (chlorek amonowy). Związki chloru wraz z surowym gazem koksowniczym kierowane są do kolejnego etapu jego przeróbki w ciągu technologicznego koksowni. Obecność związków chloru w surowym gazie koksowniczym przyczynia się między innymi do korozji urządzeń i wień gaśniczych oraz korozji urządzeń do produkcji benzolu. Związki chloru w dużej mierze przechodzą do wody przemysłowej stosowanej później do mokrego gaszenia koksu.

Pozostający w koksie chlor występuje w postaci połączeń nieorganicznych, jako następstwo wtórnej reakcji jonów chlorkowych zawartych w strukturze koksowanego węgla ze składnikami substancji mineralnej. Wśród połączeń organicznych należy wymienić: chlorki (NaCl , KCl , CaCl_2) oraz złożone krzemiany i glinokrzemiany.

O stopniu zatrzymania chloru w tworzącym się koksie decyduje możliwość utworzenia i trwałość termiczna powstających nieorganicznych połączeń tego pierwiastka.

Koks wprowadza do procesu wielkopieczowego około 2/3 całkowitej ilości chloru, zawartej we wsadzie wielkopieczowym. W trakcie wytopu surówki, chlor wraz ze składnikami alkalicznymi koksu przechodzi do gazu wielkopieczowego, co jest przyczyną tworzenia narostów na wymurówce jak też korozji urządzeń chłodzenia i czyszczenia gazu.

2.1.3. Skład petrograficzny węgla i zdolność odbicia światła wityrytu [12, 20, 26, 27, 35, 49, 57, 58, 81]

Według Międzynarodowej Klasyfikacji Macerałów Węgla Kamiennego wyróżnia się czternaście macerałów, które ze względu na właściwości technologiczne zostały połączone w trzy grupy: wityrytu (V), liptynytu (L) i inertynytu (I). Poszczególne macerały różnią się między sobą pod względem chemicznym, fizykochemicznym i mechanicznym.

Macerały grupy **wityrytu**, których udział w węglach kamiennych przekracza 50%, posiadają średnią twardość, bardzo dobre właściwości koksownicze, są podatne na utlenianie i uwodornianie. Wityryt, ze względu na dużą zawartość w węglach koksowych, ma zasadniczy wpływ na jakość otrzymywanego koksu. Macerały grupy **liptynytu** posiadają również dobre właściwości koksotwórcze (zwłaszcza dylatację, plastyczność) i są smołotwórcze. Wykazują znaczną twardość i odporność na działanie czynników utleniających, ale są podatne na uwodornienie. Macerały grupy **inertynytu** podczas odgazowania nie przechodzą w stan plastyczny (zachowują się inertnie), są odporne na działanie tlenu i wodoru, cechuje je średnia wytrzymałość.

Poszczególne grupy macerałów różnią się nie tylko zdolnością do uplastyczniania podczas pirolizy, ale także zawartością części lotnych i gęstością. Udział macerałów w węglach różnych typów – a nawet w węglach tego samego typu – jest znacznie zróżnicowany. Zawartość inertnych (inertynit, substancja mineralna) i reaktywnych (witrynit, liptynit) składników petrograficznych w węglu wpływa na jakość uzyskiwanego koksu. Ocena składu petrograficznego sprowadza się do ustalenia procentowego udziału objętościowego każdej z trzech grup macerałów oraz substancji mineralnej przy użyciu mikroskopu optycznego.

Zdolność odbicia światła należy do właściwości fizycznych węgla. W praktyce zdolność odbicia światła oznacza się na witrynicie, najliczniejszym i stosunkowo najbardziej jednorodnym składniku petrograficznym węgla. Wartość R witrynitów wzrasta proporcjonalnie ze stopniem uwęglenia. Zmiany wartości tego wskaźnika dobrze korelują ze zmianami właściwości chemicznych węgla w procesie metamorfizmu, z zawartością części lotnych, z zawartością pierwiastka węgla i wodoru.

Drugim ważnym wskaźnikiem, który uzyskuje się przy ocenie wskaźnika refleksyjności witrynitów jest wielkość rozproszenia wyników pomiarów wokół wartości średniej R . Odchylenie standardowe S_r i histogramy (uzyskane wyniki wszystkich punktów pomiarowych przedstawione graficznie) dają cenną informację, czy badany węgiel pochodzi z jednego pokładu lub kopalni, czy też jest to mieszanka węgla z kilku kopalń. Można przyjąć, że przy odchyleniu standardowym nie przekraczającym 0,15% mamy do czynienia z węglem jednorodnym.

Wskaźnik zdolności odbicia światła witrynitów R uważany jest za jeden z najlepszych parametrów oceny stopnia metamorfizmu węgla kamiennych i jest stosowany jako główny parametr klasyfikacyjny w międzynarodowej klasyfikacji węgla. Ponadto, jako parametr najlepiej określający jednorodność węgla jest wykorzystywany do określania udziału poszczególnych typów węgla w mieszance wsadowej oraz w metodach prognozowania jakości koksu.

Badania europejskich koksowników [2, 22, 23] wykazały istnienie współzależności pomiędzy reakcyjnością CRI a wytrzymałością CSR koksu, potwierdzając wpływ stopnia uwęglenia mieszanki wsadowej na wytrzymałość uzyskanego koksu. Koks o najwyższych wskaźnikach wytrzymałościowych I_{40} i CSR uzyskuje się przez odgazowanie mieszanki węglowej o wskaźniku refleksyjności $R = 1,3\text{--}1,4\%$, dalszy wzrost stopnia uwęglenia obniża wytrzymałość uzyskiwanego koksu.

2.1.4. Właściwości koksotwórcze węgla [9, 20, 26, 34, 35, 38, 49, 61, 70, 81]

Parametry jakościowe charakteryzujące właściwości koksotwórcze węgla należą do grupy określającej pierwotne cechy węgla ukształtowane w procesie naturalnego metamorfizmu.

Jedną z najważniejszych faz procesu koksowania jest etap uplastycznienia węgla tworzących mieszankę. Zdolność przechodzenia węgla w stan plastyczny warunkuje otrzymanie spieczonego i wydętego koksu. Dla tego okresu decydujące znaczenie mają takie cechy węgla jak: spiekalność, zdolność wydymania, ciśnienie rozprężania, właściwości plastyczne i dylatacyjne, a także stopień metamorfizmu węgla i jego skład petrograficzny.

Spiekalność (oznaczana metodą Rogi, Gray-Kinga oraz wskaźnikiem wolnego wydymania SI), dzięki której w procesie pirolizy w wyniku uplastycznienia, a następnie resolidacji masy

węglowej tworzy się wytrzymały, dobrze spieczony koks, uważa się za wypadkową charakterystycznych właściwości węgla. Jako jedna z najważniejszych cech węgla określających jego przydatność technologiczną stanowi parametr stosowany w klasyfikacji węgla. Z danych statystycznych odnośnie spiekalności węgla kamiennych określonej przez wskaźnik *SI* (wizualna ocena stopnia wydęcia koksiku), lub *RI* (indeks Rogi) wynika, że najwyższe optymalne właściwości spiekania wykazują węgle kamienne średniouwęglone o zawartości części lotnych 25–30%, natomiast węgle nisko- i wysokouwęglone charakteryzuje słaba spiekalność.

Oznaczenia właściwości plastycznych i dylatometrycznych węgla (metoda Gieselera, Sapożnikowa lub Arnu-Audiberta) służą do określenia jego przydatności technologicznej. Do oceny zachowania się węgla w stanie ich termicznego uplastycznienia najczęściej stosowany jest plastometr Gieselera, który mierzy w sposób pośredni tzw. płynność, będącą odwrotnością lepkości uplastycznionego węgla. Lepkość uplastycznionego węgla stanowi jedną z ważniejszych jego cech koksotwórczych. Badania wykazują związki lepkości m.in. z gazoprzepuszczalnością i wielkością ciśnienia gazów w warstwie plastycznej, ze zdolnością węgla do wydymania, z wielkością skurczu koks. Natura fazy plastycznej i zakres temperatur stanu plastycznego mają również wpływ na właściwości wytrzymałościowe i strukturę kokсів. Przy doborze poszczególnych komponentów mieszanki należy kierować się zasadą, aby zakresy temperatur ich uplastycznienia wzajemnie na siebie zachodziły, maksymalna plastyczność masy odgazowanej mieszanki była w zakresie od 200 do 1000 ddpm, a grubość warstwy plastycznej od 16,2 mm do 17,9 mm. Grubość warstwy plastycznej wyraża stopień plastyczności węgla (największa grubość występuje dla węgla kamiennych średniouwęglonych, maleje natomiast dla nisko- i wysokouwęglonych), natomiast duże wartości skurczu świadczą o skłonności węgla do tworzenia koksu spękanego o małej wytrzymałości (wskaźniki Sapożnikowa).

Przechodzeniu – podczas ogrzewania – węgla koksowych w stan plastyczny towarzyszy intensywne wydzielanie się par i gazów, które ze względu na zmniejszającą się, w miarę przebiegu procesu, gazoprzepuszczalność warstwy plastycznej mają utrudnione ujście na zewnątrz. Następujący we wnętrzu warstwy plastycznej wzrost ciśnienia generuje tzw. ciśnienie rozprężania, które spełnia ważną rolę w procesie koksowania. Zjawisko ciśnienia rozprężania umożliwia wciskanie się masy plastycznej w szczeliny warstwy półkoksu, zmniejszając ich ilość i wielkość, co wywiera korzystny wpływ na mechaniczne właściwości powstającego koksu. Koks produkowany z mieszanek węglowych o wysokim ciśnieniu rozprężania, w wyniku silnej aglomeracji ziaren koksowanego węgla ma bardzo dobre parametry wytrzymałościowe. Jednak zbyt wysokie ciśnienie rozprężania, występujące podczas procesu koksowania węgla jest czynnikiem niebezpiecznym ze względu na możliwość uszkodzenia ścian komory koksowniczej. Badania wykazały, że granicą bezpiecznej eksploatacji jest ciśnienie rozprężania nie przekraczające 14 kPa dla komór o wysokości 4 m i 7 kPa dla baterii wielkokomorowych.

Wymienione wyżej wskaźniki charakteryzujące właściwości koksotwórcze węgla w powiązaniu z innymi wskaźnikami analizy technicznej i petrograficznej umożliwiają oszacowanie przydatności węgla do procesu koksowania. Istnieje ścisły związek między właściwościami koksotwórczymi węgla i mieszanek (w szczególności parametrami ich stanu plastycznego) a właściwościami i strukturą otrzymanych z nich kokсів.

Narzędziem ułatwiającym dobór receptury mieszanek są metody prognozowania jakości koksu na podstawie właściwości wsadu węglowego. Część metod prognostycznych oparta jest

wyłącznie na charakterystyce genetycznej węgla, uwzględniającej takie parametry jak: średni współczynnik odbicia światła wityrytu, udział grup macerałów reaktywnych i inertnych czy wynik analizy elementarnej – stosunek H/C. Przeważająca ilość modeli prognozy wytrzymałościowych koksu korzysta ze wskaźników charakteryzujących właściwości koksotwórcze węgla (zdolność spiekania, właściwości dylatometryczne, płynność masy plastycznej) oraz wskaźników informujących o stopniu metamorfizmu (zawartość części lotnych V^{daf} , współczynnik odbicia światła wityrytu R).

Dobór mieszanki węglowej pod kątem uzyskania wysokich wartości wskaźników M_{40} , I_{40} nie zawsze jest odpowiedni dla uzyskania koksu o wysokiej wartości wytrzymałości poracyjnej CSR, stąd też wynika konieczność prowadzenia badań nad wpływem właściwości węgla na wskaźniki charakteryzujące wysokotemperaturową wytrzymałość koksu. Istotna korelacja pomiędzy wytrzymałością koksu CSR a parametrami jakościowymi węgla występuje dla: refleksyjności wityrytu, zawartości części lotnych oraz maksimum plastyczności F_{max} , przedziału temperatur plastyczności $t_3 - t_1$ (wg Gieselera), dylatacji b i ciśnienia rozprężania P_{max} [23, 53]. Korelacje wskaźników CSR i CRI z parametrami jakościowymi węgla koksowego opisują liczne równania opracowane na podstawie badań węgla kanadyjskich, amerykańskich i australijskich [55, 59].

2.2. Wpływ procesu wzbogacania na jakość węgla koksowego

Jakość węgla w pokładach, czystość wybierania pokładów, zakres wzbogacania oraz stopień wykorzystania zakładów przerobczych decydują o jakości węgla handlowego.

W celu uzyskania wartościowego węgla należy zastosować określone technologie przerobcze, których zadaniem jest uzyskanie z wydobytego urobku jak największej ilości użytecznej substancji węglowej oraz zminimalizowanie strat węgla w odpadach [46].

W zależności od charakterystyki urobku węglowego oraz wymagań jakościowych i ekologicznych odbiorców urobek poddawany jest wielu procesom przerobczym (schemat na rys. 2.1).

Najbardziej rozpowszechnionymi technologiami wzbogacania grawitacyjnego węgla są: separacja we wzbogacalnikach z cieczą ciężką (płuczkach ziarnowych) oraz wzbogacanie w osadzarkach wodnych (płuczkach miałowych).

Do wzbogacania drobniejszych klas węgla stosuje się wzbogacanie w hydrocyklonach, cyklonach z cieczą ciężką i wzbogacalnikach spiralnych. Najdrobniejsze klasy ziarnowe wzbogacane są we flotownikach.

Proces wzbogacania węgla koksowego prowadzi się w pełnym zakresie uziarnienia włącznie z flotacją pianową dla najdrobniejszych węgla.

W Polsce węgle koksowe typu 35 wzbogacane są w pełnym zakresie z flotacją mułów włącznie w trzech sekcjach produkcyjnych [43]:

- wzbogacanie w płuczce zawieszinowej – dla klasy ziarnowej powyżej 20 mm (trójproduktowo),
- wzbogacanie w płuczce osadzarkowej – dla klasy ziarnowej 20–0,5 mm (trójproduktowo),

2. Wartość użytkowa węgla koksowego

ODKAMIENIENIE UROBKU WĘGLA SUROWEGO, PRZYGOTOWANIE NADAWY 200–20(10) mm i 20(10)–0 mm	
WZBOGACANIE W CIECZY CIĘŻKIEJ 200–20(10) mm	
WARIANT I 2-produktowe	WARIANT II 3-produktowe
WZBOGACANIE W OŚRODKU WODNYM 20(10)–0,5 mm lub 20(10)–6(3)mm	
WARIANT I 2-produktowe	WARIANT II 3-produktowe
FLOTACJA < 0,5 mm	
OBIEG WODNO-MUŁOWY	
ZAŁADUNEK	

Rys. 2.1. Schemat blokowy procesu wzbogacania węgla
Źródło: [46]

- wzbogacanie flotacyjne – dla klasy ziarnowej poniżej 0,5 mm, flotokoncentrat kierowany jest do dwustopniowego odwadniania na filtrach tarczowych próżniowych, a następnie do suszenia termicznego (obecnie z uwagi na uwarunkowania ekonomiczne i wymogi w zakresie ekologii wprowadza się wirówki sedymentacyjno-filtracyjne eliminujące proces termicznego suszenia).

Stosowanie wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych do odwadniania flotokoncentratu umożliwi usunięcie z węgla wilgoci wraz z zawartymi w niej związkami alkalicznymi i chlorem.

Uzyskane koncentraty gruboziarniste są kruszone, po czym łączone z koncentratami miałowymi i flotacyjnymi i kierowane do zbiorników produktów handlowych.

Technologie przeróbcze przeznaczone do wzbogacania węgla koksowych pozwalają uzyskać koncentraty węglowe o bardzo wysokiej jakości: niskiej zawartości popiołu, siarki i innych zanieczyszczeń oraz niskiej zawartości wilgoci.

W operacjach przeróbki mechanicznej węgla w zasadzie reguluje się zawartość popiołu (proces wzbogacania) i zawartość wilgoci (proces odwadniania i suszenia). Pozostałe parametry jakościowe są regulowane pośrednio poprzez ustalanie tzw. „głębokości wzbogacania” (gęstości frakcji węglowej, przy której następować będzie rozdział pomiędzy koncentrat i pozostałe produkty) dla zadanej zawartości popiołu w koncentracie.

Procesy prowadzone podczas wzbogacania węgla prowadzą do ilościowych i jakościowych zmian w substancji mineralnej pozostającej w koncentratkach węglowych, powodując równocześnie pewne przesunięcia w składzie petrograficznym węgla. W miarę obniżania gęstości rozdziału koncentratu od pozostałych produktów zmniejsza się zawartość czystej skały płonnej i związanych z nią związków siarki (piryty). Ponadto w substancji mineralnej węgla zmniejsza się zawartość SiO_2 i SO_3 , rośnie natomiast zawartość Fe_2O_3 . Wzrasta udział składników grupy wityrytu przy równoczesnym zmniejszeniu udziałów macerałów grupy inertynitu. Zwiększa się wartość opałowa (na każde obniżenie zawartości popiołu o 1% wzrasta od 188 do 418 kJ/kg). Zmiany te są indywidualne dla każdego pokładu węgla i stopień tych zmian musi być stwierdzony każdorazowo dla poszczególnych węgli [5, 6, 39, 40, 62].

2.3. Relacje między jakością węgla koksowego a jego ceną rynkową

2.3.1. Rynek międzynarodowy

Poziom cen węgla na rynkach międzynarodowych uzależniony jest od sytuacji popytowo-podażowej, tj. od zapotrzebowania na węgiel w regionach zużycia i od możliwości produkcyjnych w regionach wydobywania. Zachwianie równowagi między popytem i podażą węgla zawsze prowadzi do zmienności cen, jednak dynamika tych zmian w ostatnich pięciu latach była zaskakująco wysoka.

Powszechnie stosowaną praktyką w światowym handlu węglem jest zapewnianie sobie przez odbiorców pewnej ilości dostaw surowca w umowach terminowych (zawieranych zazwyczaj na okresy roczne) i w zależności od zapotrzebowania, uzupełnianie pozostałej ilości zakupami na rynku *spot*. W przypadku węgla koksowego (w normalnej sytuacji rynkowej) przeważająca ilość węgla sprzedawana jest w kontraktach terminowych, a producenci najlepszych jakościowo węgla typu *hard*, często ponad 90% swojej produkcji kontraktowali w cenach ustalanych na okres roczny. Związane jest to ze specyfiką produkcji koksu, którego dobrą jakością gwarantuje stosowanie mieszanek węglowych o odpowiednim składzie i parametrach jakościowych [44, 45, 46, 48].

Ceny kontraktowe australijskiego węgla koksowego typu *hard* na bazie FOB porty producenta są punktem odniesienia do kontraktacji cen w umowach między głównymi producentami – eksporterami węgla a odbiorcami na rynkach w Azji, Europie, Ameryce Płd. [25].

Ze względu na stopień uwęglenia i właściwości koksotwórcze, najwyższe ceny na rynku uzyskują węgle koksowe typu *hard* oraz węgle PCI LV (o niskiej zawartości części lotnych). Następne w rankingu są węgle *semi-soft* i PCI HV, a listę zamykają węgle energetyczne.

Cenę *benchmark* ustala się w odniesieniu do najlepszych jakościowo węgla typu *hard premium*. Do tej grupy zalicza się węgle z określonych kopalń np. z australijskich kopalń Saraji i Peak Downs (BHP BM), których charakterystykę jakościową zamieszczono poniżej [87].

Kopalnia/typ węgla	W _r [%]	A ^d [%]	V ^d [%]	S _t ^d [%]	SI	F _{max} [ddpm]	CSR	R _{o max} [%]
Saraji/hard premium	10,0	10,0	18,7	0,62	8,5	160	74	1,52
Peak Downs/hard premium	9,5	9,7	20,7	0,60	8,5	400	74	1,42
Goonyella/Riverside/hard	10,0/9,5	8,9/10,0	24,3/22,5	0,52/0,55	8/7,5	1 100/500	68/72	1,17/1,24
Norwich Park/hard	10,0	9,9	17,8	0,65	9,0	100	67	1,65
Gregory/semi-hard	8,5	7,3	33,0	0,65	9,0	7 500	60	0,94

Zróznicowanie cen w grupie węgla: *hard premium*, *hard* i *semi-hard* w ciągu ostatnich czterech lat kontraktowych (FY – okres od 1 kwietnia do 31 marca) zestawiono w tabeli 2.1.

2. Wartość użytkowa węgla koksowego

TABELA 2.1. Zróżnicowanie cen kontraktowych węgla z grupy hard [USD/Mg]

Kopalnia	FY 2007/2008	FY 2008/2009	FY 2009/2010	III kw. 2010	IV kw. 2010
Peak Downs i Saraji	98	305	129	225,0	209,0
Goonyella/Riverside	96	300	128	220,0	205,0
Norwich Park	90	290	120	215,0	195,0
Gregory	85	285	115	210,0	190,0

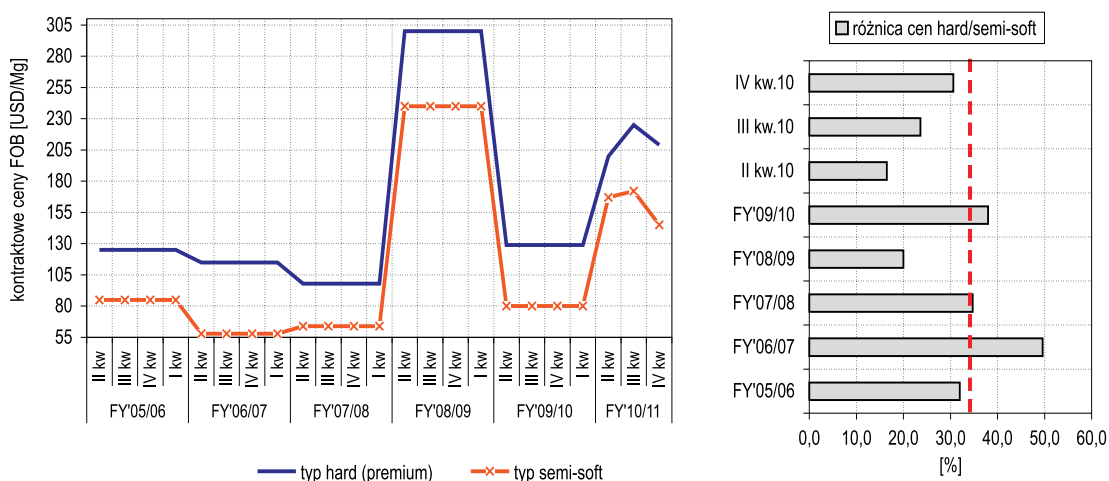
Źródło: opracowanie własne [na podstawie 77]

Ceny węgla *premium hard* były wyższe od pozostałych węgla typu *hard* od kilku do dwudziestu USD/Mg, tj. od 2 do 15%.

Relacje pomiędzy cenami węgla *hard* i *semi-soft* ilustruje wykres na rysunku 2.2. W analizowanym przedziale 23 kwartałów, ceny węgla o słabszych właściwościach koksotwórczych były średnio niższe od cen węgla *hard premium* o 33%, a w zależności od sytuacji rynkowej różnice te wahały się w przedziale od 20 do 50%.

Sytuacja na rynku handlu węglem w ostatnich dwóch latach, skutkująca dynamicznymi zmianami cen spowodowała, że marcu 2010 r. w negocjacjach cen kontraktów na rok fiskalny FY'10/11 największy światowy eksporter – australijski koncern BHP BM – wprowadził indeksowanie cen w systemie kwartalnym. Niektórzy eksporterzy zastosowali system mieszany – część tonażu kontraktowano tradycyjnie w cenach rocznych, a część z cenami zmieniającymi się kwartalnie.

Zwiększone zakupy węgla koksowego na rynku *spot* i duża zmienność cen spowodowały podjęcie prób opracowania indeksów cenowych dla węgla koksowego, podobnych do od dawna funkcjonujących indeksów węgla energetycznego.



Rys. 2.2. Zmiany kontraktowych cen węgla koksowych typu *hard* i *semi-soft* na rynku międzynarodowym w latach 2005–2010

Źródło: opracowanie własne [na podstawie 77, 78]

Energy Publishing przy współpracy Doyle Trading Consultants LLC po długich przygotowaniach i konsultacjach z liderami branży przedstawił propozycję trzech indeksów cenowych dla węgla koksowego [82]:

- CCQ – *the Coking Coal Queensland Index*,
- CCH-LOV – *the Coking Coal Hampton Roads Index, Low Vol*,
- CCH-HIGH – *the Coking Coal Hampton Roads Index, High Vol*.

Indeksy utworzono dla dwóch największych ośrodków handlu węglem koksowym drogą morską – stanu Queensland w Australii i portu Hampton Roads w USA. W ostatnich latach handel węglem koksowym drogą morską powiększa się, wzrasta ilość transakcji na rynku *spot*, a ponadto rynek ten jest coraz bardziej niestabilny. Indeksy będą pomocne w zarządzaniu zmiennością cen w indeksowanych transakcjach *swap*. Wiarygodność i solidność indeksów gwarantować będą ustalone procedury ustalania oraz dane o cenach pochodzące z wielu różnych źródeł.

CCQ Index – reprezentuje cenę FOB (w portach w stanie Queensland) węgla koksowego typu *hard premium* w transakcjach *spot* o parametrach jakościowych określonych zgodnie z normą ASTM.

Parametr	Index CCQ	Węgiel kanadyjski – ekwiwalent CCQ
Grupa parametrów zmiennych		
W_f , %	10,0	10,0
A^d , %	9,7	9,7
S_f^d , %	0,6	0,6
CSR	70 (min 68)	70 (min 68)
Grupa parametrów podstawowych		
CSN (SI)	>7	>6,5
R , %	1,15–1,52	1,05–1,30
F_{max} , ddpm	100 plus	25 plus
V^d , %	<27	<29

Przy obliczaniu wskaźnika będą brane pod uwagę transakcje, oferty kupna i sprzedaży oraz ceny na rynku dwukierunkowym jeżeli załadunek statku jest planowany w ciągu 90 dni od przekazania danych, termin płatności przypada wkrótce po załadunku, jakość węgla mieści się w ramach określonych przez 4 parametry z grupy parametrów podstawowych (lub węgiel zostanie uznany na podstawie oceny rynkowej jako węgiel *hard premium*), a jego cena zostanie przeliczona przez kompilator wskaźnika w celu uwzględnienia odchyłeń jakości.

Dostosowanie jakości w zakresie: zawartości siarki, popiołu, wilgoci i wskaźnika CSR będzie dokonywane zgodnie z wytycznymi standardowych warunków handlowych, natomiast inne korekty jakości będą dokonywane w przypadkach, w których dane historyczne wskazują stałą różnicę cen między danym węglem a węglem *hard premium*.

Ceny węgla koksowych innych niż *hard premium* będą uwzględniane przy kompilacji indeksu CCQ, ale dopiero po ustaleniu dostosowań rynkowych ceny do jakości. Dla węgla

kanadyjskich w indeksie będzie uwzględniana różnica między rynkowym frachtem morskim z Port Kembla w Australii i Vancouver w Kanadzie.

Cena Indeksu będzie wyrażona w USD/tonę. Kompilator indeksu będzie dostosowywał cenę transakcji, opierając się na następujących standardowych warunkach rynkowych:

- kontrola pomiaru jakości węgla dokonywana w porcie załadunku,
- nadawca płaci koszty postoju statku,
- czas ładowania dla statku zgodny ze standardami portu,
- płatność net wymagalna w ciągu 30 dni,
- skorygowanie ceny ze względu na zawartość popiołu – 1,50 USD/t na 1% popiołu powyżej 10% lub poniżej 9,5% (w zakresie 9,5–10,0% popiołu cena nie jest korygowana),
- skorygowanie ceny ze względu na zawartość siarki – 1,50 USD/t na 0,1% siarki powyżej lub poniżej specyfikacji,
- skorygowanie ceny ze względu na zawartość wilgoci – proporcjonalnie do zawartości wilgoci całkowitej w próbce w porównaniu do specyfikacji,
- skorygowanie ceny ze względu na wielkość wskaźnika CSR – 0,60 USD na każdy procent powyżej lub poniżej wartości nominalnej 70 (żaden węgiel z CSR poniżej 68 nie będzie rozpatrywany) – do czasu jak na podstawie analiz rynkowych zostanie określony wskaźnik wpływu na cenę jednostkowej procentowej zmiany wskaźnika CSR.

CCH-LOW Index – reprezentuje cenę FOB w porcie Hampton Roads (Virginia) węgla koksowego typu *premium* LV w transakcjach *spot* o parametrach jakościowych określonych zgodnie z normą ASTM.

Parametry	Index CCH-LV	CCH-HV
Grupa parametrów zmiennych		
W_f , %	8,8	8,0
A^d , %	5,5	7,0
S_t^d , %	0,7	0,9
Grupa parametrów podstawowych		
CSR	30+	
CSN (SI)	7–9	7–9
R_o , %	1,4–1,7	1,01–1,15
F_{max} , ddpm		>28 000
V^d , %	16–19*	32–35
Arnu		240+

* Dla węgla z kopalni Blue Creek (Alabama) V^d może wynosić 20,6%.

CCH-HIGH Index – reprezentuje cenę FOB w porcie Hampton Roads węgla koksowego typu *premium* (Typ A) o wysokiej zawartości części lotnych w transakcjach *spot* o parametrach jakościowych określonych zgodnie z normą ASTM.

Ceny Indeksu CCH-LV i CCH-HV będą wyrażone w USD/tonę. Kompilator indeksu będzie dostosowywał cenę transakcji, opierając się na standardowych warunkach rynkowych podobnych do indeksu CCQ z wyjątkiem:

- skorygowanie ceny ze względu na zawartość popiołu – 3% ceny FOB na 1% popiołu powyżej lub poniżej specyfikacji,
- nie występuje korekta ceny ze względu na wskaźnik CSR.

Indeksy będą publikowane raz w tygodniu w piątek o godz. 12 w południe czasu lokalnego Brisbane w Australii. Ceny węgla będą gromadzone od producentów, użytkowników oraz handlowców.

W przedstawionej propozycji stworzenia indeksu cen węgla koksowych zastosowano kompilator korygujący cenę w zakresie zawartości siarki, popiołu, wilgoci oraz wskaźnika CSR zgodnie z wytycznymi standardowych warunków handlowych. Pierwsze trzy parametry były zazwyczaj stosowane do rozliczeń na linii odbiorca–dostawca [24, 49]. Obecnie jednak coraz częściej ustalane są również dodatkowo warunki dotyczące wskaźnika CSR dla koksu otrzymanego z danego węgla [77].

2.3.2. Rynek krajowy

Dynamika zmian cen węgla koksowych na rynku krajowym jest w zasadzie odzwierciedleniem trendów cenowych notowanych na rynkach międzynarodowych (rys. 2.3).

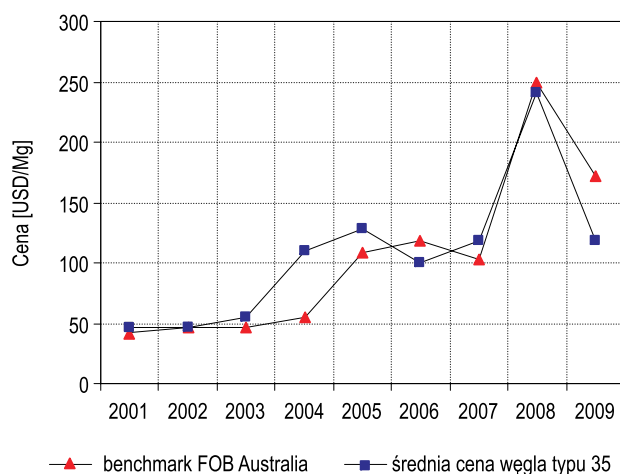
Dzięki wyjątkowej koniunkturze na stal i surowce do produkcji hutniczej, panującej na świecie od połowy 2003 roku, ceny węgla koksowych znacznie wzrosły, osiągając rekordowy poziom w roku 2004. Na początku 2005 roku pojawiły się sygnały osłabienia rynku stali (spadek popytu i cen), w efekcie światowe koncerny ograniczyły produkcję i spadło zapotrzebowanie na koks zarówno na rynku krajowym jak i w eksporcie. Mniejsze zapotrzebowanie na węgiel koksowy wymusiło na producentach węgla ograniczenie wydobycia, jednak dzięki kontraktom zawartym wcześniej (zanim nastąpiło załamanie na rynku stali i spadek popytu na koks) utrzymali ceny węgla koksowych na wysokim poziomie. W roku następnym, zgodnie z trendem światowym, ceny węgla koksowych produkowanych w kraju uległy spadkowi [54].

W klasyfikacji rynkowej, krajowe węgle koksowe typu 35 ze względu na charakterystykę jakościową, zaliczają się do grupy węgla *hard*, natomiast typu 34 do grupy węgla *semi-soft*. Porównanie zmienności cen krajowych węgla typu 35 z *benchmarkiem* na rynku międzynarodowym pokazuje wykres na rysunku 2.3.

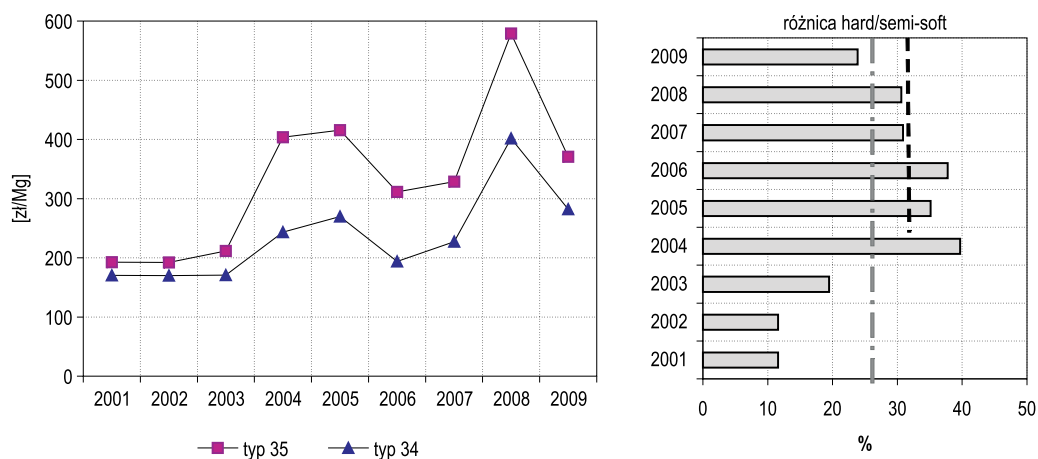
W grupie węgla koksowych, w zależności od typu (a więc wartości użytkowej dla producentów koksu) występuje zróżnicowanie cen – wyższe ceny uzyskują węgle ortokoksowe typu 35, niezbędne do produkcji dobrej jakości koksu metalurgicznego. Relacje cen węgla typu 35 i 34 na rynku krajowym w latach 2001–2009 pokazuje wykres na rysunku 2.4.

W analizowanym przedziale 9 lat, ceny węgla typ 34 (o słabszych właściwościach kokso-twórczych) były średnio niższe od cen węgla typu 35 o 27%, a w zależności od sytuacji rynkowej różnice te wahały się w przedziale od 12 do 40%. Średnia za okres 2005–2009 wynosiła 32% (podobnie jak na rynku międzynarodowym).

2. Wartość użytkowa węgla koksowego



Rys. 2.3. Porównanie cen krajowych węgla koksowego typu 35 z cenami *benchmark* FOB węgla australijskiego typu *hard* (w odniesieniu do roku kalendarzowego)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 2.4. Zmiany cen węgla *hard* (typ 35) i *semi-soft* (typ 34) na rynku krajowym
Źródło: opracowanie własne

Krajowe węgle typu 35 różnią się jakością (ze względu na stopień uwęglenia i wartość parametrów CRI, CSR koksu z tego węgla) w zależności od kopalni, z której są wydobywane, ale w małym stopniu przekłada się to na cenę – w latach 2007–2009 różnice cen w grupie węgla typu 35 dochodziły do 3%.

Poziom cen węgla w zależności od typu determinuje sytuacja rynkowa, natomiast warunki indeksowania cen węgla w przypadku odstępstwa parametrów jakościowych od wielkości

ustalonej w umowie regulują zapisy między dostawcą a odbiorcą węgla [49]. W umowach JSW SA z odbiorcami na rok 2010 indeksy cenowe ustalone zostały na poziomie:

- przy przekroczeniu zawartości popiołu A^d o 0,1% następuje obniżenie ceny węgla o 0,2%;
- przy przekroczeniu zawartości wilgoci W_t' o 0,1% następuje obniżenie ceny węgla o 0,1%;
- przy przekroczeniu zawartości siarki S_t^d o 0,01% następuje obniżenie ceny węgla o 0,03%;

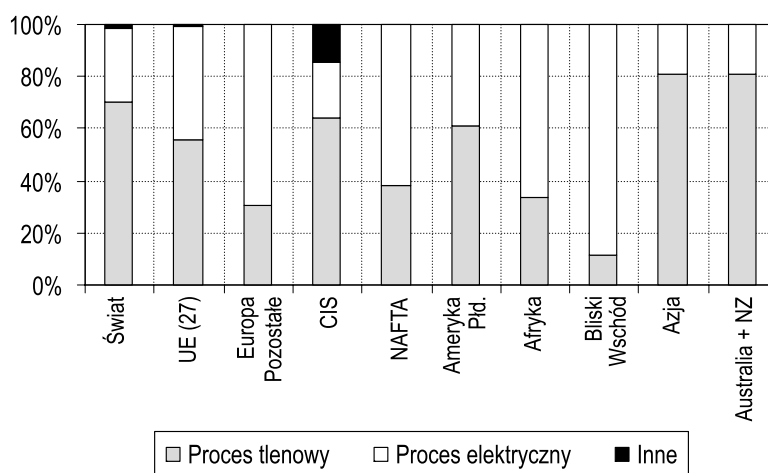
W przypadku przekroczenia w dostawie zawartości wilgoci powyżej 11%, zawartości popiołu powyżej 10% i zawartości siarki powyżej 0,95% warunki umowy są negocjowane indywidualnie.

3. Czynniki determinujące zapotrzebowanie na węgiel koksowy

Zużycie węgla koksowego jest pochodną wielkości zapotrzebowania i produkcji koksu, którego głównym odbiorcą jest hutnictwo żelaza i stali. W stabilnej od wielu lat strukturze zużycia koksu, udział branży wielkopiecowej wynosi około 80% [30, 31]. Tak więc o rozwoju branży koksochemicznej w głównej mierze decydują:

- dynamika wzrostu światowego zapotrzebowania na wyroby stalowe i udział procesu konwertorowo-tlenowego w produkcji stali surowej,
- wskaźnik jednostkowego zużycia koksu w procesie wielkopiecowym.

W skali światowej udział stali surowej wytwarzanej w układzie: koksownia – wielki piec – konwertor tlenowy wzrósł w okresie ostatnich 10 lat z 59% w roku 1999 do 67% w latach 2007–2008 i aż do 70% w roku 2009 (rys. 3.1). W Azji będącej regionem o największej produkcji stali udział ten wynosi 80%, a w samych tylko Chinach 91%.



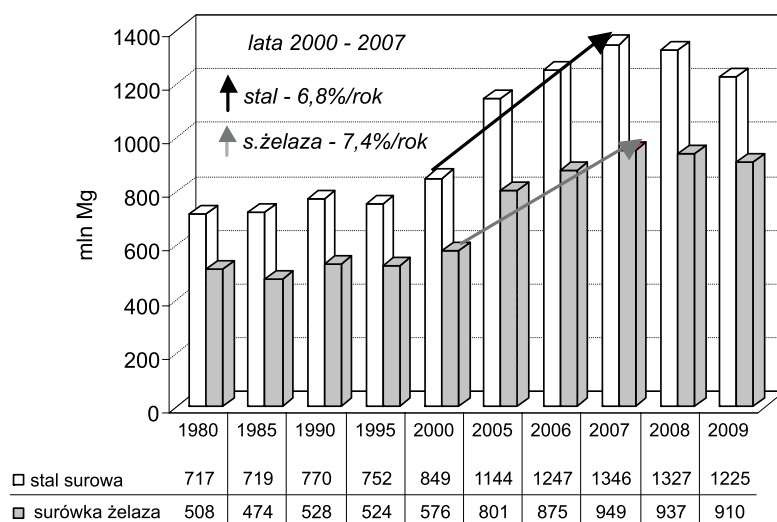
Rys. 3.1. Struktura produkcji stali w 2009 r. według procesów wytwarzania
Źródło: opracowanie własne [na podstawie 86]

Pomimo prowadzonych od wielu lat prac badawczych i wdrożeń nad innymi metodami tzw. bezpośredniej redukcji rudy żelaza (DRI), proces wielkopiecowy (w którym koks pełni rolę paliwa, reduktora i nawęglacza surowki) pozostaje nadal technologią bezkonkurencyjną w produkcji stali. W długoletniej perspektywie nie zakłada się zmiany struktury procesów wytwarzania, tym bardziej że realizowane i planowane inwestycje w nowe moce produkcyjne stali w świecie dotyczą w głównej mierze budowy wielkich pieców.

Koniunktura na rynku stali jest odzwierciedleniem globalnych procesów zachodzących w gospodarce światowej. Ostatnie dziesięć lat to niewątpliwie najbardziej znaczący okres w historii światowego przemysłu stalowego. Średnioroczny wzrost produkcji stali w latach 2000–2007 był na poziomie 6,8%, a produkcja w 2007 roku osiągnęła rekordowy poziom 1,346 mld ton (wzrost o prawie 500 mln ton). Dla porównania, ostatni rok ubiegłego wieku zakończył się produkcją stali w wysokości 785 mln ton, a średnie tempo wzrostu w latach 1990–1999 było na poziomie 0,2% rocznie [96].

Jeszcze wyższe tempo wzrostu zanotowała w tym okresie produkcja surówki żelaza, co przełożyło się na dynamiczny wzrost światowego zużycia koksu, a więc i węgla koksowego.

Światowy kryzys gospodarczy zapoczątkowany w drugiej połowie 2008 roku sprawił, że rok 2009 był bardzo trudnym okresem dla przemysłu hutniczego i branż z nim powiązanych. W wyniku spadku zapotrzebowania na wyroby stalowe, po raz pierwszy od 1999 r. nastąpił dwuletni spadek światowej produkcji stali surowej (rys. 3.2).



Rys. 3.2. Zmiany światowej produkcji stali i surówki żelaza
Źródło: opracowanie własne [na podstawie 86]

Na początku 2010 roku, poprawa sytuacji gospodarczej w świecie znalazła odzwierciedlenie we wzroście zapotrzebowania na wyroby stalowe. Producenci stali zaczęli przywracać do pracy wielkie piece, rosło wykorzystanie mocy produkcyjnych hut we wszystkich regionach świata. W opinii MEPS (raport z sierpnia 2010) światowa produkcja stali surowej w roku 2010 osiągnie poziom 1,395 mld ton i w kolejnych latach będzie wzrastać, osiągając wielkość 1,625 mld ton w roku 2014 [93]. Podobnie optymistyczny scenariusz przedstawiła australijska rządowa agencja ABARE, w którym zakłada produkcję w latach 2010–2011 na poziomie 1,4 i 1,5 mld ton [71]. Jeżeli sytuacja nie ulegnie zmianie, to w skali ostatnich 30 lat miniony kryzys będzie najkrótszym (3-letnim) okresem powrotu produkcji stali do poziomu sprzed załamania rynku. Dwa poprzednie zjawiska miały miejsce w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku i trwały 9 i 7 lat.

Należy jednak zwrócić uwagę, że wysoki poziom światowej produkcji stali surowej w latach 2010 i 2011 będzie wynikał głównie z wielkości produkcji w regionie Azji, natomiast w krajach Unii Europejskiej, w USA, czy nawet w Rosji będzie nadal niższy w porównaniu z rokiem 2007.

Konsekwencją wzrostu produkcji stali jest wzrost produkcji surówki wielkopiecowej, która według prognoz przekroczy 1 mld ton w roku 2010, a w perspektywie do roku 2015 będzie rosła średnio w tempie około 4% rocznie (tj. do około 1,240 mld ton) [31, 88].

Szacując wielkość zapotrzebowania na koks w perspektywie nadchodzących lat należy uwzględnić wskaźnik jednostkowego zużycia koksu na tonę produkowanej surówki, który ulega ciągłemu zmniejszeniu. Jest to efektem doskonalenia technologii wielkopiecowej, budowy dużych nowoczesnych jednostek, poprawy jakości surowców kierowanych do wielkiego pieca. Jednak największy wpływ mają działania zmierzające do obniżenia kosztów produkcji surówki poprzez stosowanie w coraz większej skali paliw zastępczych – najczęściej pyłu węglowego wdmuchiwanego w strefie dysz wielkiego pieca (*Pulverised Coal Injection* – PCI). Korzystny stosunek 1:1 zamiany koksu/węgiel, przy istotnej różnicy cen obu paliw stymuluje dalsze wdrażanie technologii PCI.

Aktualnie w świecie istnieje duże zróżnicowanie wskaźników jednostkowego zużycia koksu i pyłu węglowego. Średni światowy wskaźnik zużycia węgla PCI w 2008 r. był na poziomie około 120 kg/thm (*tonn of hot metal*), a według prognoz w okresie do roku 2020 wzrośnie do 140 kg/thm [21].

Najszerze stosowanie technologii PCI występuje w hutnictwie azjatyckim i zachodnio-europejskim. W Azji, wysoki wskaźnik wykorzystania węgla PCI ma miejsce: w Japonii (od 100 do 152 kg/thm), Korei (173 kg/thm), Indiach (116 kg/thm) i Chinach (od 145 do 170 kg/thm).

W europejskim hutnictwie jednostkowe zużycie węgla stosowanego w technologii PCI kształtuje się na poziomie: Holandia (223 kg/thm), Niemcy (155 kg/thm), Francja (163 kg/thm), Włochy (170 kg/thm).

W USA wskaźnik substytucji koksu waha się w zakresie od 80 do 140 kg/thm.

Dążeniem wielkopiecowników jest uzyskanie docelowego wskaźnika całkowitego zużycia paliw (koks + paliwa zastępcze) w wielkim piecu w wysokości 500 kg/tonę surówki, przy jednostkowym zużyciu koksu rzędu 300 kg/tonę surówki.

Wdrażanie technologii PCI powoduje wzrost wymagań odnośnie jakości stosowanego koksu. Zmniejszający się udział objętościowy koksu we wsadzie wielkopiecowym, przy potrzebie zagwarantowania przewiewności słupa materiałów szczególnie w strefie kohezyjnej, wymaga stosowania koksu wysokostabilizowanego o wąskiej klasie uziarnienia, odpornego na ścieranie, posiadającego niską reaktywność i wysoką wytrzymałość poreakcyjną CSR oraz możliwie jak najmniejszą zawartość składników balastowych i szkodliwych (popiół, siarka, fosfor, alkalia) [3, 17, 40].

Spełnienie wysokich wymagań jakościowych wymusza produkcję koksu wielkopiecowego z coraz lepszych mieszanek węglowych komponowanych głównie na bazie węgla koksowych typu *hard*.

W opinii analityków całkowite światowe zapotrzebowanie na koks w perspektywie do roku 2020 wzrośnie do 780 mln ton (w średnim tempie około 3,7% rocznie) [88], co spowoduje znaczny wzrost popytu na węgiel koksowy i związany z tym rozwój nowych mocy wydobywczych w górnictwie węglowym.

4. Światowy rynek węgla koksowego

4.1. Światowa produkcja i zużycie węgla koksowego

Globalne zużycie węgla koksowego ogółem w latach 2000–2009 wzrosło o 60% – z 475 do 761 mln ton – głównie w krajach o największej dynamice rozwoju produkcji stali. W 2009 roku konsumpcja w krajach OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) spadła o ponad 19% (do 157 mln ton), natomiast w pozostałych krajach, głównie rozwijających się wzrosła o 10% (do 604 mln ton). Utrzymujący się od kilku lat spadek zużycia węgla w krajach rozwiniętych świadczy o większym uzależnieniu hutnictwa tych krajów od importu koksu metalurgicznego. W Azji, charakteryzującej się największą produkcją stali, zużycie węgla koksowego w analizowanym okresie wzrosło 2,4-krotnie, a w Chinach 3,7-krotnie.

Ranking największych użytkowników węgla koksowego, którzy odpowiadają łącznie za 88% światowej konsumpcji tego surowca zestawiono w tabeli 4.1.

Porównanie zestawionych danych z innym źródłem (CRU), według którego światowe zużycie węgla koksowego do produkcji koksu w roku 2009 wyniosło 715 mln ton (spadek w porównaniu z 2008 r. o 3,9%) wskazuje, że w Coal Information dane dotyczące węgla

TABELA 4.1. Główni światowi użytkownicy węgla koksowego [mln Mg]

Kraj	2000	2005	2006	2007	2008	2009*
Chiny	119,76	282,36	339,63	381,15	387,53	445,66
Indie	35,85	39,04	41,08	46,01	46,54	55,45
Japonia	57,08	56,53	57,67	58,20	57,38	52,24
Rosja	43,94	44,99	44,62	46,53	42,20	46,12
Ukraina	30,58	29,82	30,31	30,30	27,72	21,27
Korea Płd.	19,41	20,88	20,73	21,74	23,84	20,11
Niemcy	24,46	22,19	21,69	23,00	20,01	15,45
USA	25,96	20,83	20,90	20,52	19,99	14,04
Świat ogółem	475,22	626,86	690,81	744,50	741,74	761,33

* Dane wstępne, zostaną zweryfikowane w następnej edycji Coal Information'2011

Źródło: [73]

koksowego obejmują również częściowo zużycie węgla w technologii PCI w przemyśle hutniczym. W statystykach niektórych krajów węgiel PCI, ze względu na kierunek wykorzystania, kwalifikowany jest do grupy węgla koksowych (lub metalurgicznych), mimo że nie posiada właściwości koksotwórczych.

Rosnące światowe zapotrzebowanie na węgiel użytkowany w przemyśle hutniczym spowodowało rozwój wydobywania węgla koksowego, którego produkcja w latach 2000–2009 wzrosła o 65% do 794 mln ton. Ponad połowa światowego wydobywania węgla koksowego ma miejsce w krajach azjatyckich, w tym głównie w Chinach. Kolejne pozycje w rankingu największych producentów zajmują: Australia, Rosja, USA, Indie, Kanada oraz Ukraina. Tak więc w siedmiu krajach kumuluje się około 90% światowego wydobywania węgla koksowego (tab. 4.2).

TABELA 4.2. Główni światowi producenci węgla koksowego [mln Mg]

Kraj	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Chiny	123,75	280,65	338,97	379,14	384,96	412,39
Australia	103,75	128,31	123,99	142,65	140,11	130,60
Rosja	51,04	55,51	54,03	57,44	54,40	55,91
USA	54,29	46,44	44,60	47,31	57,37	46,56
Kanada	28,16	26,61	26,00	28,13	28,34	22,98
Indie	22,09	23,58	23,75	25,58	25,32	32,19
Ukraina	27,84	23,17	23,05	21,53	19,78	18,23
Świat ogółem	480,33	651,48	716,23	787,52	793,78	793,79

Źródło: [73]

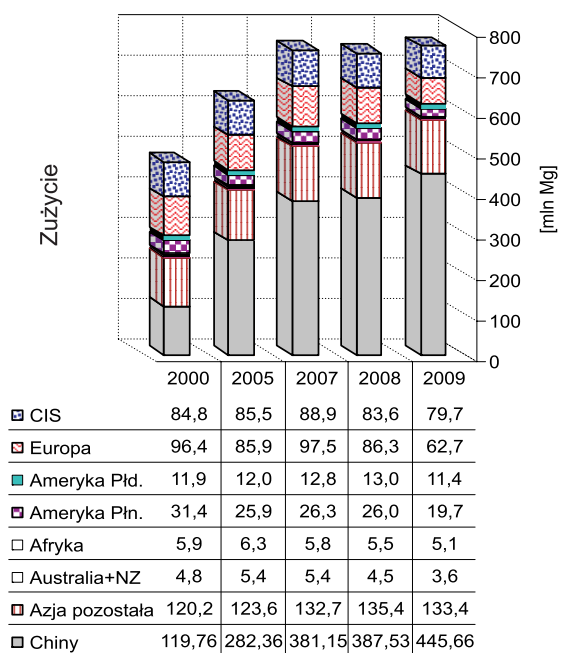
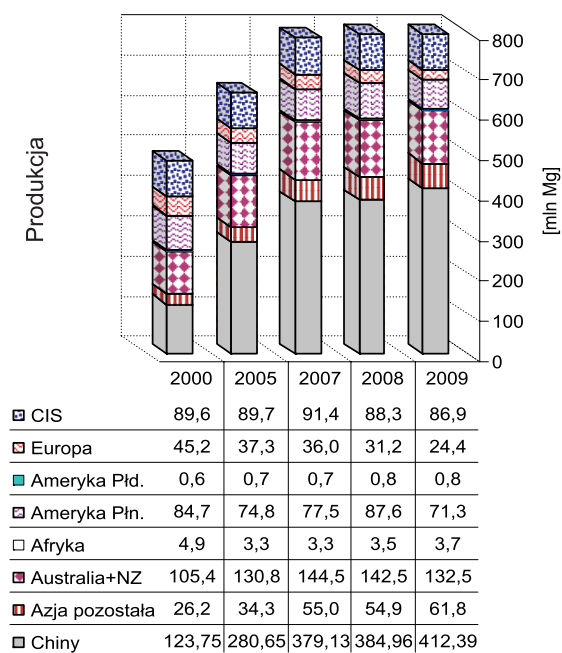
Należy zauważyć, że jako znaczący producent węgla koksowego wykazywana jest również Indonezja (wzrost z 4 mln w roku 2000 do około 29 mln ton w 2009 r.), jednak z adnotacją, że jest to węgiel o bardzo słabych właściwościach koksotwórczych lub wręcz węgiel energetyczny stosowany w technologii PCI.

Wstępne dane statystyczne pokazują, że mimo kryzysu w branży koksowniczej w roku 2009 światowa produkcja węgla koksowego nie uległa spadkowi, przy czym tylko niektóre kraje jak Chiny i Indie zanotowały wzrost. W pozostałych regionach świata producenci zmuszeni zostali do redukcji mocy wydobywczych.

Bilans produkcji i zużycia węgla koksowego w poszczególnych regionach świata (rys. 4.1) pokazuje, że największy deficyt występuje w Azji i w Europie i musi być uzupełniany importem węgla. Przyczynia się to do wzrostu ilości węgla będącego przedmiotem handlu na rynkach międzynarodowych.

Ostatnio udział Europy (bez krajów CIS) w światowej produkcji wynosi zaledwie 3–4%, a znaczące wydobywanie węgla koksowego prowadzone jest tylko w czterech krajach. W Czechach

4. Światowy rynek węgla koksowego



Rys. 4.1. Porównanie produkcji i zużycia węgla koksowego w regionach świata w latach 2000–2009
Źródło: opracowanie własne

i do niedawna w Polsce produkcja zaspokajała krajowe zapotrzebowanie, natomiast w dwóch pozostałych państwach – tj. w Niemczech i na Ukrainie – produkcja węgla koksowego jest niewystarczająca i podobnie jak pozostałe kraje europejskie należą one do grupy znaczących importerów. Wspólnota Europejska (jako całość) jest największym po Japonii światowym importerem węgla koksowego.

W Azji, mimo że Chiny i Indie należą do grupy największych światowych producentów, ich wewnętrzne zapotrzebowanie na węgiel koksowy przekracza krajowe zdolności wydobywcze. Przy dynamicznie rosnącym zużyciu węgla w Chinach, region azjatycki ogółem przejmuje ponad 100 mln ton węgla z rynku międzynarodowego.

4.2. Międzynarodowy handel węglem metalurgicznym

Okolo 30% światowej produkcji węgla koksowego jest przedmiotem handlu na rynku międzynarodowym. Deficyt węgla występujący na dwóch odległych geograficznie rynkach – w Azji (region Pacyfiku) i w Europie Zachodniej (region Atlantyku) pokrywany jest głównie dostawami węgla z Australii i Ameryki Północnej, toteż 90% handlu odbywa się drogą morską. Pozostały handel drogą lądową obejmuje tradycyjną wymianę pomiędzy USA i Kanadą, Chinami i Mongolią, Rosją i Ukrainą oraz między krajami europejskimi.

Na rynku międzynarodowym, w strukturze jakościowej węgla metalurgicznych będących przedmiotem handlu przeważa węgiel koksowy typu *hard* (około 130–140 mln ton), pozostałą ilość stanowią węgle *semi-soft* oraz węgle PCI [75].

Rynek węgla typu *hard* (niezbędnego do produkcji koksu dobrej jakości) kontrolowany jest przez 5 producentów eksporterów – międzynarodowe koncerny: BHP BM (33%), Teck Cominco (16%), Anglo American/Mitsui (8%), Xstrata (7%) oraz Rio Tinto (6%).

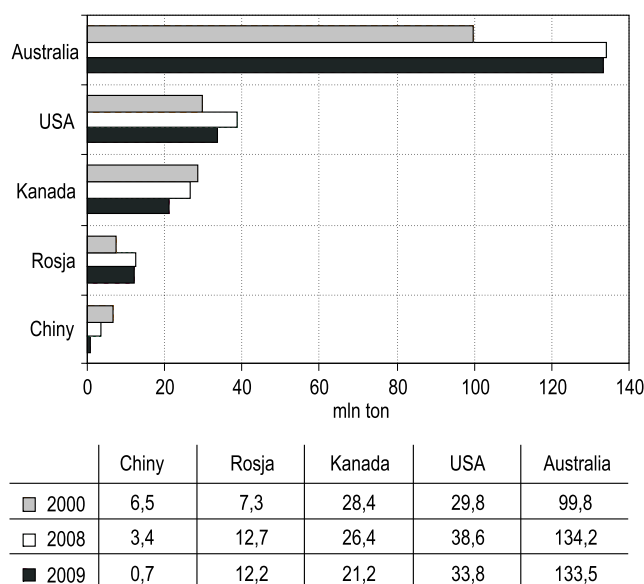
W latach 2000–2008 handel węglem koksowym zwiększył się o 40% do prawie 260 mln ton. W roku 2009 (szczególnie w pierwszej jego połowie), ze względu na kryzysową sytuację w przemyśle koksowniczym spadł popyt na węgiel importowany, toteż ilość węgla będącego w obrocie handlowym obniżyła się do 232 mln ton (w tym 217 mln w handlu drogą morską).

4.2.1. Podaż – główni eksporterzy

Międzynarodowy rynek węgla po stronie dostawców jest w małym stopniu zróżnicowany, a w czołówce znajdują się: Australia (ponad 60% udziału), USA, Kanada i Rosja (rys. 4.2). Do grupy tej należały również Chiny (z eksportem 13 mln ton w roku 2003), jednak od kilku lat kraj ten stał się netto importem węgla koksowego. Chiny ze względu na rosnący popyt ze strony krajowych producentów stali zwiększyły import węgla (głównie typu *hard*), przy restrykcyjnym ograniczeniu własnego eksportu, co znacznie zaburzyło równowagę na międzynarodowym rynku węgla koksowego.

Największy potencjał eksportowy posiada **Australia**. Kopalnie wydobywające węgiel (głównie na eksport) zlokalizowane są na wschodnim wybrzeżu kraju w dwóch stanach:

4. Światowy rynek węgla koksowego



Rys. 4.2. Główni eksporterzy węgla koksowego
Źródło: opracowanie własne

Queensland i New South Walles [71, 87]. Eksporterzy oferują pełną gamę węgla metalurgicznych – węgle koksowe typu *hard*, węgle o słabszych właściwościach koksotwórczych typu *semi-soft* oraz węgle stosowane w technologii PCI LV. Kopalnie w rejonie Bowen Basin (Queensland) produkują głównie węgle koksowe typu *hard*, natomiast w NSW wydobywa się węgle *semi-soft HV* (Newcastle i Hunter Coalfields) oraz węgle typu *hard LV i MV* (Southern Coalfield). Wielkim atutem górnictwa australijskiego jest bliskie położenie kopalń w stosunku do wybrzeża morskiego (portów).

Największym w Australii producentem węgla i równocześnie największym światowym eksporterem węgla koksowego typu *hard* jest koncern BHP Billiton Mitsubishi Alliance posiadający 7 kopalń zlokalizowanych w zagłębiu Bowen Basin i zarządzający również 2 kopalniami należącymi do BHP Billiton Mitsui. Koncern jest też właścicielem terminalu węglowego Hay Point obok Mackay o mocy przeładunkowej około 42 mln ton węgla rocznie. Inny australijski koncern Macarthur Coal specjalizuje się w produkcji węgla PCI LV (95% sprzedaży z 5 mln ton węgla). Ponadto w Australii operują takie międzynarodowe koncerny jak: Anglo Coal, Xstrata, Rio Tinto, Vale i Peabody.

W opinii ABARE [71], dzięki projektom rozbudowy mocy produkcyjnych kopalń oraz inwestycjom w infrastrukturę portową i transportową, australijski eksport będzie rósł w tempie 5% rocznie i w roku 2015 będzie na poziomie 183 mln ton, a do roku 2020 podaż w węglu z Australii może zwiększyć się o 90 mln ton (w tym 68 mln ton węgla *hard* i 22 mln ton *semi-soft* i PCI).

W USA [77, 85, 90]eksportowany węgiel koksowy pochodzi głównie z rejonu Appalachów i jest to w większości węgiel o wysokiej zawartości części lotnych (*hard HV*). Udział w produkcji węgla MV i LV stanowi około 40%. Kopalnie węgla koksowego należą do koncernów:

Consol Energy, Alpha Natural Resources, Massey Energy, Jim Walter Resources, PinnOak Resources oraz ArcelorMittal. Producenci z USA należą do grupy tzw. dostawców wahadłowych – przy wysokich cenach węgla zwiększają podaż, natomiast przy spadku cen wycofują się z rynku.

W ostatnich latach, wykorzystując dobrą koniunkturę cenową, eksporterzy zwiększyli podaż węgla na rynek międzynarodowy o prawie 9 mln ton [78]. Ze względu na rosnący popyt azjatycki, również producenci z USA zwiększają potencjał eksportowy węgla inwestując w rozwój kopalń. Jednak należy mieć na uwadze, że węgiel koksowy wydobywany jest głównie w kopalniach w rejonie Appalachów gdzie produktywność kopalń spada, a polityka ochrony środowiska nie sprzyja inwestycjom rozwojowym. Zwiększona podaż może pochodzić z kopalń produkujących węgiel *semi-soft HV*, który w zależności od sytuacji rynkowej kierowany jest na rynek węgla metalurgicznego lub węgla energetycznego.

W **Kanadzie** [77, 89] największym eksporterem jest koncern Teck (poprzednio Elk Valley Coal), zajmujący po australijskim koncernie BHP BM drugą pozycję w rankingu światowych eksporterów węgla typu *hard*. Teck skupia 6 kopalń zlokalizowanych w odległości około 1150 km od terminali węglowych w porcie Roberts Bank (koło Vancouver), stąd też w koszcie eksportu wysoki udział mają koszty transportu węgla do portów.

Kanadyjscy producenci węgla, ze względu na wysokie koszty produkcji, mogą zwiększyć potencjał eksportowy jedynie przy wysokich cenach rynkowych węgla. Planowane obecnie inwestycje rozwojowe zwiększą moce produkcyjne kanadyjskich kopalń o 4,5–6 mln ton węgla, głównie z przeznaczeniem na rynek chiński [77]. Do roku 2020 podaż węgla z Kanady może zwiększyć się o 13 mln ton (w tym 11 mln ton węgla *hard*).

W **Rosji** [72, 77, 83, 95] około 70% produkcji węgla koksowego pochodzi z kopalń należących do koncernów: Raspadskaya, Evraz, Mechel, Sibuglement i Severstal-Resource. Tradycyjnie około 41–47 mln ton węgla koksowego zużywają krajowe koncerny stalowe i zakłady koksownicze, a tylko 8–11 mln ton kierowane jest na eksport.

Aktualnie na rynku rosyjskim brakuje węgla koksowego typu *hard* (K, KO), a ich udział w produkcji ogółem wynosi niewiele ponad 20%.

Zaspokojenie popytu na rynku krajowym i wzrost podaży na eksport będzie możliwe w wyniku zagospodarowania nowych złóż zlokalizowanych w trudnodostępnych regionach Dalekiego Wschodu. Koncern Evraz prowadzi inwestycje mające zwiększyć wydobycie węgla typu K z kopalń Kureinsky (Kuzbass) i Denisovskaya (Yakutia). Ponadto Evraz wygrał przetarg na eksploatację złóż węgla koksowego w Republice Tuwa we wschodniej Syberii. Inwestycje mają rozpocząć się w 2010 roku, a docelowo do roku 2016 wydobycie ma osiągnąć poziom około 10 mln ton. W Republice Tuwa w basenie Ulug-Khem ma powstać kompleks kopalń zarządzanych przez prywatne koncerny. Trzema dużymi złożami węgla zainteresowane są koncerny: Severstal, Novolipetsk Steel (NLMK, który nie posiada własnych kopalń) oraz Magnitogorsk Iron and Steel (NMK). Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na węgiel w Azji, projektem zainteresowani są również eksporterzy węgla jak Kuzbassrazrezugol i Mechel. Rozwój nowej inwestycji zależy od budowy linii kolejowej (418 km) pomiędzy Kyzyl i Kuragino, która ma być skończona do 2014 r. Postęp budowy kompleksu jest uzależniony od warunków pogodowych i geologicznych wynikających z lokalizacji złoża. Koncern Mechel buduje terminal przeładunkowy w porcie Wanino na Dalekim Wschodzie, co jest jednym

z elementów polityki rozwoju eksportu węgla na rynek Pacyfiku. Znaczne zwiększenia produkcji planowane jest także w wyniku zagospodarowania bogatych złóż węgla koksowego (typu K, KZh) w Jakucji [77].

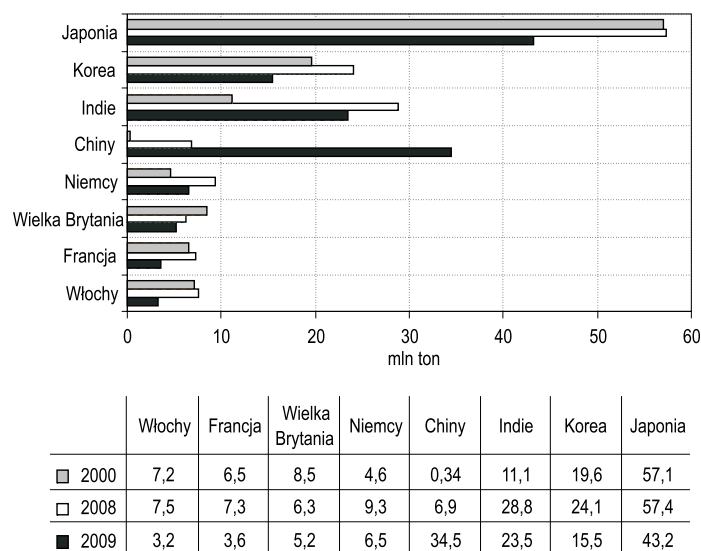
4.2.2. Popyt – główni importerzy

Po stronie popytowej znaczącym importerem jest rynek azjatycki, przejmujący ponad połowę ogólnoświatowego handlu tym surowcem.

Największymi importerami węgla są koncerny z Japonii, Indii i Korei Południowej. W roku 2009 dołączyły do tej grupy Chiny, stając się głównym światowym importerem węgla koksowego (rys. 4.3). Duże zapotrzebowanie na węgiel ze strony przemysłu koksowniczego, w połączeniu z kłopotami podażowymi chińskiego górnictwa oraz wysokimi cenami krajowego węgla, skłoniły producentów koksu do zakupów węgla na rynku międzynarodowym, gdzie ceny w transakcjach *spot* były znacznie niższe od cen węgla chińskiego. Pozwoliło to eksporterom z Australii, Kanady i Rosji utrzymać wysoki eksport, mimo spadku popytu ze strony tradycyjnych odbiorców. Według rynkowych szacunków Koncern BHP (wraz z Mitsubishi Corp. i Mitsui & Co.) sprzedał w 2009 r. do Chin około 20 mln ton (z 55 mln ton eksportu węgla koksowego). Tak duży import węgla koksowego przez Chiny (wzrost o 27,5 mln ton w porównaniu do roku 2008) przewyższył o około 14 mln ton spadek importu do Japonii [78].

Rynek azjatycki zdominowany jest przez dostawców z Australii i Kanady, jednak w ostatnich dwóch latach coraz więcej węgla kierują tam producenci z USA i Rosji.

Na rynku europejskim największymi odbiorcami węgla (z importem powyżej 5 mln ton) są: Niemcy, Francja, Wielka Brytania, Ukraina, Włochy oraz Turcja. Według komunikatów



Rys. 4.3. Główni światowi importerzy węgla koksowego

Źródło: opracowanie własne

Komisji UE [71], import węgla koksowego z krajów trzecich na potrzeby przemysłu hutniczego 14 krajów Wspólnoty kształtował się na poziomie – 40,6 mln ton (2006 r.), 36 mln ton (2007 r.), 45,9 mln ton (2008 r.) i tylko 25,2 mln ton w roku 2009.

W dostawach węgla koksowego na rynek atlantycki (obejmujący kraje UE, Europy Wschodniej i Morza Śródziemnego) drugą pozycję po Australii zajmują eksporterzy z USA, dla których rynek ten ma kluczowe znaczenie, przejmując 60% ich sprzedaży zagranicznej.

Kolejnymi dużymi dostawcami węgla na rynek europejski są Kanada i Rosja. Głównymi odbiorcami węgla rosyjskiego są tradycyjnie już Ukraina oraz Rumunia i Turcja. Pewne ilości węgla (użytkowane głównie w technologii PCI) sprowadzane są z RPA, Kolumbii i Wenezueli.

Również węgiel polski (obecnie około 2 mln ton) i czeski (około 4 mln ton) jest przedmiotem handlu na rynku europejskim. Część węgla podlega wzajemnej wymianie między Polską i Czechami, a pozostałymi odbiorcami są Austria i Słowacja.

W Ameryce Południowej największym importerem jest Brazylia, niewielkie ilości węgla sprowadzają również Chile i Argentyna. Głównymi dostawcami, z racji bliskości rynku, są producenci z USA, pozostała ilość węgla importowana jest z Australii i Kanady. Węgiel PCI sprowadzany jest głównie z RPA i Indonezji.

4.3. Perspektywy rozwoju światowego rynku węgla koksowego

Przewidywany rozwój światowej produkcji stali, a więc i surowki żelaza, znalazł odbicie w prognozach dotyczących wzrostu popytu na węgiel stosowany w przemyśle hutniczym. W opinii CRU zużycie węgla do produkcji koksu wzrośnie do roku 2014 do 965 mln ton, a w roku 2020 przekroczy miliard ton. Największa dynamika przewidywana jest w regionie azjatyckim, gdzie zużycie wzrośnie o ponad 300 mln ton i osiągnie poziom 860 mln ton.

Światowy popyt na węgiel koksowy w handlu drogą morską wzrośnie już w 2012 roku do 300 mln ton, w tym 190 mln stanowić będzie węgiel typu *hard*, 57 mln ton węgla typu *semi-soft* i 53 mln ton węgla PCI. Do roku 2012 będzie się utrzymywał deficyt węgla typu *hard* (rzędu 3–6 mln ton), a rynek zostanie zbilansowany po roku 2013, kiedy pojawi się produkcja węgla z nowych inwestycji [74, 75].

W opinii australijskiej agencji ABARE handel węglem koksowym (drogą morską) w 2010 r. wzrośnie o 14%, a w kolejnym roku o dalsze 7,9% – do 260 mln ton. Globalny popyt na importowany węgiel metalurgiczny w perspektywie do roku 2015 wzrośnie do 304 mln ton, w średnim rocznym tempie około 6% [71].

Znaczący wpływ na rynek będą mieć **Chiny**, które zakupiły ponad 34 mln ton węgla koksowego w roku 2009 i będą zwiększać import w kolejnych latach (o 9 i 19%). W opinii wielu analityków Chiny pozostaną w grupie największych importerów węgla koksowego, gdyż podaż krajowa będzie niewystarczająca wobec rosnącego zapotrzebowania. Chińskie górnictwo szybko wyczerpuje zasoby węgla, a jakość produkcji spada. Ponadto spadają moce wydobywcze w wyniku zamykania małych, niebezpiecznych kopalni. Jedynie 25% zasobów zalega mniej niż 400 m pod ziemią, a połowa z tego w rejonach metanowych, co utrudnia wydobywanie. Największy wzrost produkcji węgla będzie miał miejsce w prowincjach na północy kraju, w dużej odległości od regionu południowego, który jest głównym centrum zużycia węgla

koksowego. Powoduje to kłopoty z regularną podażą ze względu na kłopoty z infrastrukturą transportową i kosztami przewozów.

W **Indiach** tylko niewielka część zapotrzebowania na węgiel koksowy może być pokryta krajową produkcją, gdyż węgiel indyjski ma tak wysoką zawartość popiołu, że nawet po wzbogaceniu w koncentracie pozostaje go 17–20% [60]. Głównym dostawcą węgla na rynek indyjski będzie Australia, która ze względu na położenie geograficzne ma znacznie niższy koszt frachtu w przewozach morskich w porównaniu z dostawcami z USA czy Kanady. Gujarat NRE Coke zakupił udziały w dwóch kopalniach w Australii, które w ciągu 4 lat zwiększą wydobywanie do 7 mln ton/rok. Również inne indyjskie koncerny (jak Tata i Mittal) są zainteresowane inwestowaniem w surowce zarówno w Australii, jak też w innych krajach [77].

Planowany wzrost produkcji stali przez koncerny indyjskie napędzi popyt na węgiel koksowy przez następne 10 lat, toteż Indie mogą się stać największym singlowym importerem węgla metalurgicznego [60]. Już teraz Indie w poszukiwaniu tańszego węgla niż australijski czy kanadyjski nawiązują kontakty z Rosją. Węgiel rosyjski może stanowić konkurencję dla innych tradycyjnych dostawców. Producenci węgla jak np. Mechel przerzucają część węgla z rynku krajowego na eksport, mogą też ograniczyć eksport na Ukrainę.

W **Brazylii** prognozy wskazują, że w obecnej dekadzie import węgla metalurgicznego może wzrosnąć do 31,8 mln ton (w tym 7,8 mln ton węgla PCI). Brazylijskie stalownie i koksownie będą zwiększać moce produkcyjne, co przełoży się na wzrost zapotrzebowania na węgiel importowany. Wiąże się to z piłkarskimi Mistrzostwami Świata w roku 2014 i letnią Olimpiadą w roku 2016. Jednym z pierwszych realizowanych projektów jest wspólna inwestycja Thyssen Krupp i Vale's CSA (*Cia Siderurgica do Atlantico*) – budowa dwóch wielkich pieców i baterii koksowniczej [77].

Rozwój nowych mocy produkcyjnych węgla koksowego [27, 71, 74, 75, 77, 80]

Największy potencjał wzrostu produkcji i podaży węgla koksowego występuje jedynie w kilku krajach, stąd też światowe koncerny poszukują możliwości inwestowania w nowe, niezagospodarowane złoża węgla na świecie. Największym zainteresowaniem cieszą się zasoby węgla zlokalizowane w Mongolii, Indonezji i w Mozambiku.

W **Mozambiku** złoża węgla w zachodniej prowincji Tete należą do jednych z największych w skali światowej dotąd niezbadanych regionów węglowych i mogą być, następnym po Bowen Basin w Australii, najważniejszym zagłębiem węgla koksowego.

Koncesję na eksploatację złóż Moatize w zachodniej prowincji Tete (szacowanych na 2,4 mld ton) posiada konsorcjum Vale (95% udziałów) i AMCI, które zamierza uruchomić w 2011 roku kopalnię odkrywkową. Do 2015 roku kopalnia osiągnie wydobywanie 18 mln ton w tym 12 mln ton węgla typu *hard*. Konsorcjum w perspektywie do 2020 r. zamierza zwiększyć produkcję nawet do 40 mln ton/rok.

Kolejny inwestor, australijski koncern Riversdale Mining ma koncesję na eksploatację złóż Benga w prowincji Tete. W pierwszej fazie projektu (realizowanego wspólnie z Tata Steel) produkcja węgla surowego wyniesie 5,3 mln ton, w tym 1,7 mln ton węgla koksowego typu *hard*. Drugi etap planowany na 2014 rok zwiększy produkcję węgla koksowego *hard* do 3,3 mln ton/rok, a możliwe jest zwiększenie produkcji do 6 mln ton węgla koksowego typu *premium*.

hard. Końcowy etap rozwoju do 20 mln ton/rocznie jest zależny od dostępu do infrastruktury kolejowej i portowej. Linia kolejowa ma być budowana z Moatize do portu Nacla.

W **Indonezji** w centralnej części Kalimantanu znajdują się duże złoża węgla koksowego, którego wydobyciem zainteresowani są liczni inwestorzy, mimo poważnych problemów logistycznych związanych z transportem węgla z tego regionu.

Koncern BHP Billiton już pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku rozpoznał basen Maruwai, gdzie znajdują się zasoby węgla metalurgicznego bardzo dobrej jakości. BHP Billiton zawiązał spółkę *joint venture* z PT Adaro Energy (drugi największy producent węgla energetycznego w Indonezji) do rozwoju inwestycji Maruwai (*Indonesian Coal Project – ICP*) w której BHP ma 75%. Z projektu Maruwai produkcja do 2014 r. ma wynosić ponad 6 mln ton węgla energetycznego i koksowego. Drugi etap może dać 11 mln ton rocznie, a docelowo wydobycie może wynosić 40 mln ton rocznie (3 etap). Węgiel transportowany będzie małymi i dużymi barkami, a w następnych etapach koleją.

We wschodniej części Kalimantanu inwestuje również koncern SouthGobi Energy Resources realizując projekt Mamahak. Złoża objęte koncesją zawierają węgiel energetyczny, węgiel koksowy *semi-soft* i potencjalnie węgiel koksowy dobrej jakości.

Inwestowaniem w **Mongolii** zainteresowane są takie koncerny jak: BHP Billiton, brazylijska Kompania Vale (dawniej CVRD), Rio Tinto, a także chińskie kompanie Shenhua Group oraz Shandong Luneng Group oraz koncerny stalowe z Japonii i Korei.

Złoże Tavan Tolgoi (znajdujące się na pustyni Gobi), szacowane jest na 6 mld ton, z tego około 40% zasobów oceniane jest jako wysokiej jakości węgiel koksowy. W południowej części pustyni Gobi, sąsiadującej z północnochińską prowincją Inner Mongolia, znajdują się jeszcze przynajmniej cztery podobne złoża. W rejonie tym pozwolenie na wydobycie uzyskał koncern SouthGobi Energy Resources Ltd (posiadający 50 licencji na badanie obszaru 20 tys. km²). Koncern realizuje projekt budowy kopalni odkrywkowej Ovoot Tolgoi (zlokalizowanej 45 km od granicy z Chinami). Kluczowym problemem i wąskim gardłem dla wydobycia węgla w tym rejonie jest brak infrastruktury transportowej. Złoża obecnie eksploatowane (jak też przewidziane w najbliższym czasie do eksploatacji) znajdują się w odległości około 1200 km od Pekinu, skąd jest już stosunkowo blisko do wielkich portów węglowych, takich jak: Qinhuangdao i Tianjin. W pierwszej kolejności konieczne jest więc zbudowanie linii kolejowej, łączącej kopalnię na południu Gobi z prowincją Inner Mongolia.

Aktualnie Mongolia eksportuje do Chin 3,5–4 mln ton węgla koksowego, ale w przyszłości może być głównym jego dostawcą.

5. Węgiel koksowy w Polsce

5.1. Krajowa baza zasobowa węgla koksowych

Polska jest jedynym krajem europejskim, posiadającym znaczne zasoby wysokojakościowego węgla koksowego. Udział węgla koksowego (typ 34–37) w udokumentowanych zasobach bilansowych węgla kamiennego w kraju wynosi około 26%, natomiast w zasobach przemysłowych złóż zagospodarowanych 41%.

Najistotniejsze z punktu widzenia eksploatacji górniczej zasoby operatywne węgla koksowego oszacowano na koniec roku 2008 na 1,242 mld ton, w tym udział najlepszych jakościowo węgla ortokoksowych typu 35 stanowił 42,5%.

Przeprowadzona w ramach reformy górnictwa likwidacja Zagłębia Dolnośląskiego, dysponującego wysoko zmetamorfizowanym węglem semikoksowym i ortokoksowym, oraz kilku kopalń węgla ortokoksowego w Zagłębiu Górnośląskim (KWK Gliwice, KWK Morcinek, KWK Jas-Mos – Ruch Moszczenica oraz KWK Marcel – Ruch 1-Maja), znacznie ograniczyła krajową bazę surowcową węgla stosowanych w przemyśle koksowniczym [7, 54].

Wydobycie węgla koksowego w kraju prowadzone jest w kilkunastu kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego skoncentrowanych w Jastrzębskiej Spółce Węglowej SA oraz w Kompanii Węglowej SA (tab. 5.1 i 5.2). Łączne operatywne zasoby węgla koksowych w kopalniach JSW SA i KW SA (według stanu na 31 grudnia 2008 r.) były na poziomie:

- węgiel typu 35 – 513,27 mln ton,
- węgiel typu 34 – 690,84 mln ton.

TABELA 5.1. Wielkość zasobów w złożach koncesyjnych kopalń JSW SA (stan na 31 XII 2009 r.)

Kopalnia	Zasoby przemysłowe [tys. Mg]	Zasoby operatywne [tys. Mg]	
		ogółem	w tym węgle typu 35–37
KWK „Borynia”	64 420	36 200	35 798
KWK „Budryk”	365 159	242 171	123 613
KWK „Jas-Mos”	67 729	31 181	31 181
KWK „Krupiński”	37 851	24 059	572
KWK „Pniówek”	131 322	84 866	81 920
KWK „Zofiówka”	154 446	95 854	95 854
JSW SA	820 927	514 331	368 938

Źródło: [68]

Wśród udokumentowanych zasobów węgla w złożach koncesyjnych kopalń JSW SA zdecydowanie dominuje węgiel ortokoksowy typu 35, stanowiący 65,3% zasobów operatywnych. Udział węgla typu 34 wynosi 27%, typu 32–33 – 1,4%, typu 36–37 – 6,3% [68].

Złoża kopalń z uwagi na uwarunkowania tektoniczne zaliczane są do bardzo trudnych i klasyfikowane w II i III grupie zmienności. Prawie 45% zasobów operatywnych zalega w pokładach o grubości powyżej 2 m. Ilość zasobów operatywnych w pokładach cienkich (do grubości do 1,5 m) stanowi prawie 27%. W filarach ochronnych zalega około 3% zasobów operatywnych [28].

Strategia rozwoju JSW SA zakłada znaczne powiększenie bazy zasobowej poprzez udostępnianie i zagospodarowanie zasobów węgla koksowego zalegających w obrębie nowych złóż, sąsiadujących z obszarami górniczymi czynnych kopalń oraz optymalne wykorzystanie zasobów w złożach koncesyjnych czynnych kopalń [29, 48, 56, 68, 69]. Zasoby węgla planowane do udostępnienia robotami górniczymi określone zostały w wysokości:

- w złożach Bzie-Dębina 1 – Zachód i Bzie-Dębina 2 – Zachód zasoby przemysłowe (na poziomie wydobywczym 1110) – 139,6 mln ton, a zasoby operatywne – 94,9 mln ton (w pokładach udostępnionych robotami górniczymi do 2042 roku); węgle koksowe typu 35 stanowią 95% udokumentowanych zasobów operatywnych,
- w złożu Pawłowice 1 zasoby przemysłowe (na poziomie wydobywczym 1000 i 1140) – 84,0 mln ton, zasoby operatywne – 54,6 mln ton; w złożu dominują węgle koksowe typu 35, stanowiące 78% udokumentowanych zasobów operatywnych,
- w obrębie części złóż: Żory i Warszowice-Pawłowice Północ zasoby przemysłowe (do głębokości 1000–1030 m) oszacowano w wysokości 87,4 mln ton, a zasoby operatywne – 37,6 mln ton,
- w obrębie partii E i Zgoń złoża Krupiński oraz w obrębie części złoża Żory-Suszec planowane jest udostępnienie 26,5 mln ton zasobów operatywnych węgla, a w obrębie części złoża Chudów-Paniowy 1 – 4,0 mln ton zasobów operatywnych.

JSW SA prowadzi inwestycje mające na celu zagospodarowanie zasobów zalegających poniżej aktualnych poziomów udostępnienia w złożach koncesyjnych kopalń:

- w złożu Budryk na głębokości od 1050 m do 1290 m (budowa poziomu 1290),
- w złożu Pniówek na głębokości od 830 do 1140 m (budowa poziomu 1000 i 1140),
- w złożu Zofiówka na głębokości od 900 m do 1080 m (budowa poziomu 1080).

Perspektywnym kierunkiem dalszego zwiększenia bazy zasobowej JSW SA będzie również działanie w zakresie poprawy stanu rozpoznania zasobów w obrębie złóż: Bzie-Dębina 1 – Wschód, Gołkowice oraz Ornontowice II.

W wyniku realizacji przedsięwzięć strategicznych związanych z zagospodarowaniem nowych złóż oraz zasobów zalegających na większych głębokościach łączna ilość zasobów operatywnych JSW SA wyniesie 718 mln ton [68].

W kopalniach Kompanii Węglowej SA, zasoby operatywne węgla według stanu na koniec roku 2008 wyniosły 1 440,75 mln ton w tym 49,6% (714,5 mln ton) stanowiły węgle koksowe typów 34,1–37,1. Zasoby węgla typu 34 zalegają w złożach 12 kopalń, natomiast węgla typu 35,1 w złożach 4 kopalń, do których należą: Knurów-Szczygłowice, Sośnica-Makoszowy, Halemba-Wirek i Bielszowice. W złożach kopalni Szczygłowice znajdują się również zasoby węgla typu 35,2 w ilości 1,02 mln ton [16, 44].

TABELA 5.2. Wielkość zasobów operatywnych węgla koksowego w złożach koncesyjnych kopalń KW SA (stan na 31 XII 2008 r.)

Kopalnia	Zasoby operatywne [mln Mg]		Kopalnia	Zasoby operatywne [mln Mg]	
	typ 34	typ 35-37		typ 34	typ 34-37
Szczygłowice	32,45	29,12	Pokój	11,27	–
Knurów	42,59	9,84	Jankowice	33,42	–
Halemba-Wirek	130,35	60,25	Chwałowice	17,73	–
Bielszowice	87,21	59,38	Brzeszcze-Silesia	21,30	–
Sośnica-Makoszowy	82,49	6,89	Bolesław Smiały	21,34	–
Rydułtowy-Anna	56,93	–	Bobrek-Centrum	1,08	–
Marcel	10,87	–	KW SA	549,02	165,48

Źródło: [16]

Zasoby operatywne w złożach kopalń KW SA zalegają na głębokościach od 300 do 1300 m, przy czym najgłębiej udokumentowane zasoby mają kopalnie Rydułtowy-Anna w złożu Rydułtowy oraz Halemba-Wirek w złożach Halemba i Halemba II. Najwięcej udokumentowanych zasobów operatywnych zalega na głębokościach 900 i 1000 m [15].

Grubość pokładów węgla kamiennego w złożach kopalń jest korzystna do eksploatacji – prawie 67% zasobów operatywnych zalega w pokładach o grubości powyżej 2 m. Ilość zasobów operatywnych w pokładach cienkich (do grubości do 1,5 m) stanowi jedynie 12%. W filarach ochronnych zalega prawie 28% zasobów operatywnych – głównie w filarach ochronnych dla obiektów powierzchniowych, szczególnie dla zwartej zabudowy miejskiej (dotyczy to zwłaszcza kopalń bytomskich i rudzkich).

Poważnym problemem w eksploatacji złóż kopalń KW SA mającym wpływ na wielkość bazy zasobowej jest budowa autostrad, dróg ekspresowych i linii szybkiej kolei. Autostrady przebiegają przez tereny górnicze 8 kopalń. Autostrada A-4 przebiega przez tereny górnicze kopalń: Sośnica-Makoszowy, Bielszowice, Halemba-Wirek. Autostrada A-1 przebiegać będzie przez tereny kopalń: Marcel, Knurów, Sośnica-Makoszowy, Bobrek-Centrum i Piekary. W rejonie autostrady A-4 w złożach kopalń zalega około 335 mln ton zasobów uznanych w projektach zagospodarowania złóż za przemysłowe, a w rejonie projektowanej autostrady A-1 około 80 mln ton. Łącznie zasoby te stanowią około 17% zasobów przemysłowych KW SA. Projektowana linia szybkiej kolei przechodzi przez tereny górnicze kopalń Szczygłowice, Knurów i Sośnica-Makoszowy. Ze względu na wpływ działalności górniczej na wybudowane lub planowane do budowy obiekty (deformacje powierzchni), eksploatacja w ich rejonie jest znacznie ograniczona [15, 66].

Strategia rozwoju KW SA zakłada zwiększenie bazy zasobowej poprzez udokumentowanie i uzyskanie koncesji na złoża z kopalń zlikwidowanych i złoża niezagospodarowane, z których część położona jest w bezpośrednim sąsiedztwie kopalń czynnych.

W przypadku złóż dotychczas niezagospodarowanych przewiduje się uzyskanie koncesji na eksploatację złoża Śmiłowice, będącego częścią złóż Chudów-Paniowy i Mikołów. Złoże to położone jest na południe od kopalń Halemba-Wirek i Bielszowice i przewiduje się, że będzie w przyszłości eksploatowane przez te kopalnie. Trwają prace, w wyniku których złoże zostanie udokumentowane do głębokości 1300 m. W złożu o powierzchni o około 14 km² zalega około 40 pokładów węgla, w większości węgla koksowego o bardzo dobrych parametrach jakościowych [16]. Wstępnie do zasobów przemysłowych zaliczono około 163,9 mln ton, a do zasobów operatywnych 106,3 mln ton.

Trwają prace nad celowością udokumentowania i pozyskania złoża nazwanego roboczo Wilcza, stanowiącego część wcześniej udokumentowanego złoża Pilchowice. W złożu tym zalegają pokłady warstw dolnorudzkich i siodłowych zawierające przede wszystkim węgle koksowe. Złoże to mogłoby być przedmiotem eksploatacji kopalni Knurów-Szczygłowice.

Mówiąc o bazie zasobowej węgla koksowego w kraju należy również wziąć pod uwagę plany wznowienia wydobywania w złożach zlikwidowanej kopalni Dębieńsko (gdzie produkowano węgiel koksowy typu 34.2). Spółka Karbonia, należąca do Koncernu New World Resources (NWR), otrzymała z Ministerstwa Ochrony Środowiska 50-letnią koncesję na wydobycie węgla ze złóż nieczynnej od 2000 r. kopalni. Według ostrożnych szacunków w złożu Dębieńsko zostało około 100 mln ton dobrej jakości węgla koksowego [19].

5.2. Jakość węgla koksowych produkowanych w kraju

Z punktu widzenia klasyfikacji rynkowej, węgle ortokoksowe typu 35 spełniają wymagania stawiane węglom typu *hard*, natomiast gazowo-koksowe typu 34 zaliczają się do grupy węgla *semi-soft HV* (o wysokiej zawartości części lotnych) [49].

Charakterystyka jakościowa krajowych węgla koksowych pokazuje, że w praktyce nie dysponujemy węglami koksowymi o jakości odpowiadającej węglom *hard premium LV* oferowanych na rynku międzynarodowym (wysoki stopień uwęglenia, niska zawartość inertynitu, bardzo dobre właściwości koksotwórcze). Niższa zawartość części lotnych w przypadku węgla typu 35.2B wynika nie tyle z wysokiego stopnia metamorfizmu, ile z podwyższonej zawartości macerałów grupy inertynitu, co nie jest korzystne z punktu widzenia jakości produkowanego koksu [40]. Ponadto krajowe węgle posiadają dość wysoką zawartość fosforu i alkaliów, natomiast ich zaletą jest niska zawartość siarki. Charakterystykę jakościową węgla z poszczególnych kopalń (dane z 2009 roku) zestawiono w tabelach 5.3 i 5.4.

Węgiel z KWK Jas-Mos – najwyżej uwęglony w grupie krajowych węgla ortokoksowych, o średnich właściwościach spiekania, niskiej plastyczności i słabych właściwościach dylatacyjnych. Posiada najniższą w grupie węgla ortokoksowych zawartość fosforu, siarki i związków alkalicznych. Jego cechą ujemną jest wysoka zawartość inertynitu. Stosowany jako składnik schudzający w mieszankach koksowniczych do produkcji koksu wielkopieczowego i odlewniczego.

Węgle z KWK Zofiówka i KWK Borynia – należą do węgla średniouwęglonych, o dobrych właściwościach dylatacyjnych, plastyczności i spiekania. Charakteryzują się podwyższoną zawartością fosforu i związków alkalicznych. Węgiel z tych kopalń pełni rolę podstawowego

TABELA 5.3. Średnie parametry jakościowe krajowych węgli ortokoksowych typu 35

Parametr	Jas-Mos 35.2B	Zofiówka 35.2A	Borynia 35.2A	Pniówek 35.1
Zawartość popiołu A^d [%]	5,8–7,2	6,8–8,1	6,5–8,5	5,5–7,5
Zawartość części lotnych V^{daf} [%]	21,2–24,2	22,1–25,8	24,2–25,7	26,9–29,9
Zawartość siarki S_t^d [%]	0,42–0,55	0,55–0,77	0,5–0,79	0,62–0,8
Zawartość fosforu P^a [%]	0,004–0,009	0,042–0,068	0,046–0,08	0,035–0,06
Spiekalność RI	64–78	71–82	70–82	74–84
Wolne wydymanie SI	5,5–7,0	7,0–8,5	7,5–8,5	7,5–9,0
Dylatacja b [%]	+15–+40	+48–+106	+34–+120	+104–+154
Plastyczność $F_{max,1}$ ddpm	58–342	432–1 176	368–2 344	1 996–3 058
Refleksyjność wityrytu R [%]	1,14–1,37	1 03–1,28	1 01–1,24	0,95–1,10

Źródło: [materiały JSW SA, 91]

TABELA 5.4. Średnie parametry jakościowe węgli koksowych typu 34

Parametr	Budryk	Krupiński	Knurów- -Szczygłowice	Rydułtowy- -Anna	Bielszowice	Marcel
Zawartość popiołu A^d [%]	6,5–8,5	7,8–9,0	4,9–6,9	3,9–8,9	7,2–9,6	4,3–7,6
Zawartość części lotnych V^{daf} [%]	32,5–36,0	36,2–39,3	30,6–33,4	33,1–36,0	30,0–33,7	31,8–34,6
Zawartość siarki S_t^d [%]	0,72–0,90	0,66–0,79	0,54–0,67	0,33–0,44	0,55–0,70	0,49–0,87
Zawartość fosforu P^a [%]	0,040–0,060	0,045–0,070	0,027–0,068	0,023–0,060	0,019–0,059	0,006–0,025
Spiekalność RI	56–72	65–78	67–75	75–84	64–70	58–71
Wolne wydymanie SI	5,5–7,5	4,5–7,0	6–7	7,5–8,5	3,5–7,0	4,5–7,0
Dylatacja b [%]	+30–+70	+20–+50	+14–+68	+34–+131	–5–+14	–14–+4
Plastyczność $F_{max,1}$ ddpm	1 028–4 363	bd	236–2 139	936–1 0958	191–1 151	47–554
Refleksyjność wityrytu R [%]	0,83–0,95	0,78–0,80	1,08–1,12	0,88–0,99	0,86–1,00	0,83–0,99

Źródło: [44, 92]

składnika mieszanki wsadowej stosowanej do produkcji wysokiej jakości koksu wielkopiecowego.

Węgiel z KWK Pniówek – najniżej uwęglony w grupie węgli ortokoksowych, charakteryzuje się dobrymi właściwościami spiekania oraz wyższymi od pozostałych węgli wartościami dylatacji i plastyczności. Negatywną cechą jest dość wysoka zawartość fosforu, chloru i związków alkalicznych.

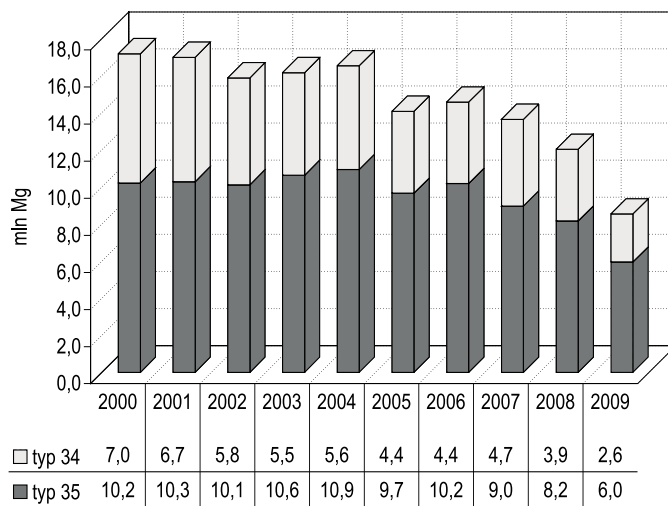
Węgłe koksowe typu 34 charakteryzują się niższym stopniem uwęglenia oraz słabszymi właściwościami koksotwórczymi. Węgłe te stosowane są jako dodatek do mieszanek koksowniczych, a ich procentowy udział jest zależny od rodzaju produkowanego koksu. W opinii koksowników najlepszymi jakościowo węglami gazowo-koksowymi typu 34 są węgle z kopalni Knurów-Szczygłowice.

5.3. Stan aktualny i prognozy rozwoju krajowej produkcji węgla koksowego

Udział węgla koksowego w ogólnym wydobyciu węgla kamiennego w kraju obniżył się z 17% w roku 2000 do 11% w roku 2009. Istotną przyczyną obniżenia produkcji była kumulacja czynników geologiczno-górnictwowych utrudniających wydobycie w kopalniach węgla koksowego jak też seria zdarzeń wynikających z zagrożeń naturalnych, takich jak: tąpnięcia spowodowane wstrząsem górotworu, pożary w wyniku samozapalenia się węgla lub zapalenia metanu. Szczególnie dotkliwy dla branży koksowniczej był spadek produkcji najlepszych jakościowo węgla ortokoksowych typu 35 wydobywanych w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA [79].

Szczególnie trudny dla górnictwa był rok 2009, kiedy w wyniku kryzysu w gospodarce światowej i spadku zapotrzebowania na koks ze strony przemysłu hutniczego, nastąpiło znaczne ograniczenie popytu na węgiel koksowy. Zmusiło to kopalnie do ograniczenia produkcji – wydobycie netto węgla koksowego spadło o 29% (3,48 mln ton) w porównaniu z rokiem poprzednim (rys. 5.1).

W roku 2010 znaczne ożywienie w przemyśle stalowym i koksowniczym zwiększyło zapotrzebowanie na węgiel koksowy, kopalnie zwiększyły wydobycie – w czasie ośmiu

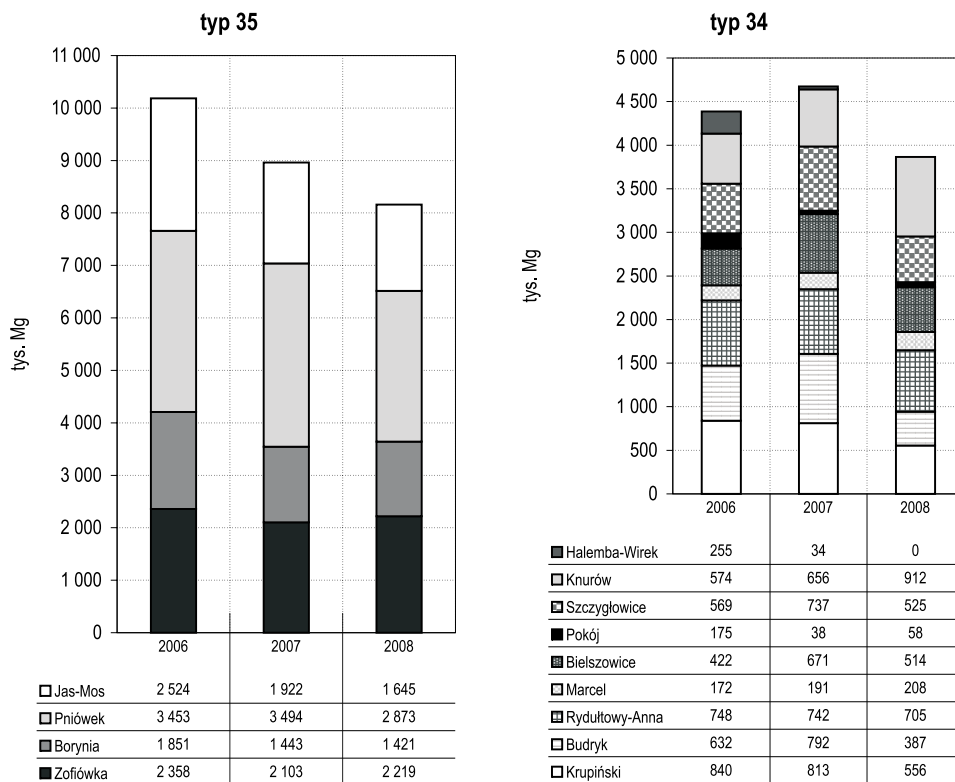


Rys. 5.1. Produkcja węgla koksowego w kraju w latach 2000–2009 w podziale na typy
Źródło: opracowanie własne [na podstawie 79]

miesiące produkcja wzrosła (w porównaniu z analogicznym okresem roku 2009) o 61% do 6,8 mln ton.

Największym producentem węgla koksowego w kraju jest JSW SA zrzeszająca 6 kopalń: Jas-Mos, Borynia, Pniówek, Zofówka – produkujące węgiel ortokoksowy typu 35, oraz kopalnie Krupiński i Budryk – w których wydobywa się węgiel gazowo-koksowy typu 34. Kopalnia Budryk została włączona w strukturę organizacyjną JSW SA w styczniu 2008 roku. Udział węgla koksowego typu 34 w całkowitym wydobyciu z kopalni Budryk kształtuje się na poziomie około 20%, a z kopalni Krupiński 30–40%. W skali spółki, będącej jedynym w kraju producentem węgla ortokoksowego, udział węgla gazowo-koksowego typu 34 w produkcji węgla koksowego ogółem kształtuje się na poziomie około 10–15%.

Krajowe wydobycie węgla typu 34 pochodzi głównie z kopalń Kompani Węglowej SA, które część węgla (w zależności od zapotrzebowania rynku) produkują dla branży koksowniczej a pozostałą ilość kierują do odbiorców na rynku energetycznym. W KW SA udział produkcji węgla koksowego (typu 34) stanowi około 6–7% ogólnego wydobycia węgla kamiennego. W kopalniach produkujących węgiel koksowy typu 34 jego udział w ogólnym wydobyciu waha się od 25 do 35% w kopalniach: Szczyglowice, Knurów, Rydułtowy-Anna, Bielszowice, oraz na poziomie kilku procent w pozostałych kilku kopalniach



Rys. 5.2. Produkcja węgla koksowego w poszczególnych kopalniach w latach 2006–2008

Źródło: opracowanie własne

Prognoza wydobycia węgla koksowego w kopalniach JSW SA [48, 68, 69]

W Jastrzębskiej Spółce Węglowej SA w latach 2010–2030 planowane jest utrzymanie zdolności produkcyjnych węgla na poziomie 14,1 mln ton. Aby utrzymać wydobycie węgla typu 35 na poziomie około 9 mln ton, konieczne są działania inwestycyjne wymagające dużych nakładów finansowych. Bez zwiększenia istniejącej bazy zasobowej, od 2020 roku produkcja ulegałaby zmniejszeniu do 5–6 mln ton w dwóch zakładach wydobywczych (KWK Pniówek i KWK Zofiówka), które zakończyłyby swą działalność w roku 2040.

Działania związane z rozbudową bazy zasobowej w złożach koncesyjnych – prowadzące do uruchomienia nowych poziomów wydobywczych – w kolejnych latach będą miały miejsce w kopalniach: Budryk (poziom 1290), Pniówek (poziom 1000 i 1140) i Zofiówka (poziom 1080).

Ponadto planowana jest techniczna i organizacyjna integracja trzech sąsiadujących kopalń: Borynia, Zofiówka i Jas-Mos (od 2013 r. Kopalnia Zespólna), co pozwoli na podjęcie eksploatacji zasobów w filarach ochronnych i granicznych i wydłuży okres działalności kopalń.

JSW SA uzyskała koncesję na rozbudowę kopalni Zofiówka o pole Bzie-Dębina 2– Zachód, a perspektywę znaczącego rozszerzenia bazy zasobowej stwarza realizacja planów inwestycyjnych w zakresie udostępnienia i zagospodarowania zasobów węgla koksowego w obrębie złóż Bzie-Dębina 1 – Zachód oraz Pawłowice, z wykorzystaniem infrastruktury technicznej i technologicznej sąsiadujących z nimi kopalń Zofiówka i Pniówek.

Planowane są działania mające na celu udostępnienia i zagospodarowania zasobów w partii E i partii Zgoń w KWK Krupiński i w części złoża Żory Suszec co wydłuży okres funkcjonowania kopalni.

Prognozowana żywotność kopalń, wynikająca z realizacji przedsięwzięć strategicznych będzie się kształtować na poziomie:

Kopalnia	z realizacją strategii [lata]	bez uwzględnienia realizacji inwestycji [lata]
Borynia	33	16
Zofiówka	42	12
Jas-Mos	13	13
Pniówek	42	16
Budryk	68	25
Krupiński	21	11

Prognoza JSW SA zakłada produkcję węgla handlowego w latach 2011–2014 na poziomie 14,1 mln ton, w tym około 8,4 mln ton koncentratu węgla typu 35. Pozostała ilość stanowić będzie koncentrat węgla typu 34 (2,2 mln ton) oraz węgiel do celów energetycznych (3,5 mln ton). Przewiduje się, że po roku 2015 (kiedy nastąpi spadek produkcji do 13,8 mln ton), zdolności wydobywcze będą wzrastać, co pozwoli do roku 2030 produkować około 14,1 mln ton węgla – w tym 9,1 mln ton koncentratu węgla typu 35 i 1,5 mln ton typu 34. Wskaźnik uzysku węgla koksowego w ogólnej produkcji wzrośnie z 70% w roku 2010 do ponad 75% w latach następnych.

Prognoza wydobycia węgla koksowego w kopalniach KW SA [15, 16, 39]

Strategia Kompanii Węglowej SA przyjęta na lata 2007–2015 zakłada zmianę struktury wydobycia i sprzedaży węgla koksowego. W wyniku podjętych i planowanych działań technicznych i organizacyjnych, takich jak: selektywny transport dołowy, modernizacja zakładów przerobczych oraz podjęcie eksploatacji w tych partiach złoża gdzie występuje węgiel koksowy, założono do roku 2015 produkcję w wysokości około 5 mln ton rocznie węgla koksowego typu 34, w tym głównie z KWK Knurów-Szczygłowice. Pozostałe ilości będą pochodziły z kopalń Bielszowice, Halemba-Wirek oraz Rydułtowy-Anna. Nie wiadomo jednak jak będą się przedstawiać możliwości produkcyjne węgla w świetle zapowiedzi o konieczności zamknięcia nierentownej kopalni Halemba-Wirek oraz niepewności co do funkcjonowania kopalni Rydułtowy-Anna.

W kopalni Knurów-Szczygłowice zakłada się również możliwość uruchomienia produkcji węgla ortokoksowego typu 35.1 na poziomie 150 tys. ton i wzrost wydobycia do około 600 tys. ton w dalszej perspektywie czasowej.

Mając na uwadze publikowane informacje na temat zamierzeń inwestycyjnych spółek węglowych można założyć, że do roku 2030 produkcja węgla koksowego w kraju będzie na poziomie około 16 mln ton (tab. 5.5), w tym około 9,7 mln ton węgla ortokoksowego typu 35 (łącznie z planowaną produkcją 600 tys. ton z KW SA).

TABELA 5.5. Prognoza produkcji węgla koksowego w Polsce w latach 2015 i 2020

Producent	Węgiel typ 35 [mln Mg]		Węgiel typ 34 [mln Mg]	
	2015 r.	2020 r.	2015 r.	2020 r.
JSW SA	8,80	9,1	1,7	1,5
KW SA	0,15	0,6	4,3	5,1
Razem	8,95	9,7	6,0	6,6

Źródło: opracowanie własne

Prognozując przyszłe zdolności produkcyjne kopalń węgla koksowego w Polsce, należy również wziąć pod uwagę plany wznowienia wydobycia w kopalni Dębieńsko przez Spółkę Karbonia, należącą do Koncernu NWR. Według doniesień spółki, uruchomienie kopalni Dębieńsko II ma nastąpić w roku 2016, a docelowa produkcja będzie się kształtować na poziomie 2–3 mln ton rocznie [97].

5.4. Struktura sprzedaży i zużycia węgla koksowego w kraju

Głównym odbiorcą węgla koksowego jest rynek krajowy, na który w ostatnich latach sprzedawano ponad 80% wydobycia (tab. 5.6).

W wyniku utrzymującego się dużego popytu na węgiel koksowy ze strony krajowych koksowni, przy równoczesnym spadku wielkości produkcji, udział sprzedaży zagranicznej węgla koksowego obniżył się z 30% w latach 2000–2001 do 14% w roku 2008. Węgiel ten

TABELA 5.6. Struktura sprzedaży krajowego węgla koksowego w latach 2000–2009 [mln Mg]

Lata	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Sprzedaż ogółem	17,2	17,0	15,7	16,1	16,4	13,8	14,8	13,7	11,5	9,0
Rynek krajowy	11,8	12,0	11,7	13,3	13,1	10,6	11,1	11,4	9,9	6,9
Udział [%]	68,6	70,6	74,5	82,6	79,9	76,8	75,0	83,2	86,1	76,7
Eksport	5,4	5,0	4,0	2,8	3,3	3,2	3,7	2,3	1,6	2,1
Udział [%]	31,4	29,4	25,5	17,4	20,1	23,2	25,0	16,8	13,9	23,3

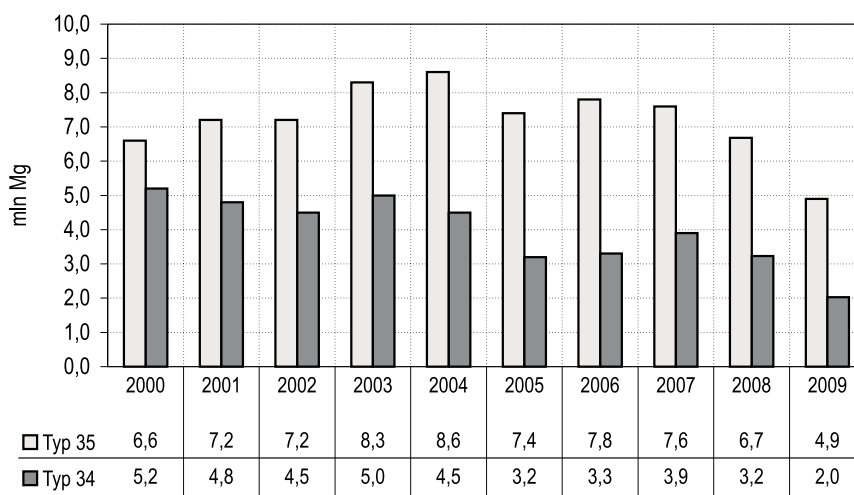
Źródło: [79]

kierowany był do krajów Unii Europejskiej (głównie: Austrii, Czech i Słowacji), a niewielkie ilości również do Francji, Hiszpanii, Niemiec.

W roku 2009 sprzedaż węgla koksowego na rynki zagraniczne wzrosła w porównaniu z rokiem poprzednim, co było efektem działań antykrzysowych wprowadzonych w JSW SA. Spółka znalazła w Turcji i w Niemczech nowych odbiorców na węgiel, który nie został odebrany przez krajowe koksownie, głównie z grupy ArcelorMittal.

W czasie 8 miesięcy 2010 r. sprzedaż ogółem węgla koksowego wzrosła (w porównaniu z analogicznym okresem 2009 roku) o 66% do 7,78 mln ton. Sprzedaż do krajowych koksowni zwiększyła się o 3,2 mln ton (do 6,5 mln ton), a udział rynku krajowego wzrósł do prawie 84% w ogólnej sprzedaży.

W ostatnich latach w strukturze jakościowej sprzedaży węgla na rynku krajowym obserwuje się wzrost udziału węgla ortokoksowego (z 56% w roku 2000 do 70% w latach 2005–2006). Wzrost sprzedaży eksportowej koksu produkowanego w kraju wymusił na producentach stosowanie mieszanek koksowniczych z wysokim udziałem najlepszych jakościowo węgla (rys. 5.3).



Rys. 5.3. Struktura sprzedaży węgla koksowych na rynku krajowym (w podziale na typy)

Źródło: opracowanie własne [na podstawie 54, 79]

W latach 2007–2008 spadek sprzedaży węgla ortokosowych na rynku krajowym nie wynikał z niższego zapotrzebowania odbiorców lecz z mniejszej podaży, spowodowanej kłopotami produkcyjnymi kopalń. Brak stabilnych dostaw oraz niewystarczające ilości dobrych jakościowo węgla, przełożyły się na obniżenie jakości produkowanego koksu (w wyniku zwiększonego udziału węgla typu 34 w mieszankach koksowniczych). Gorszej jakości koks, o wysokiej zawartości składników balastowych i niskiej wytrzymałości mechanicznej, powodował problemy z prawidłową pracą wielkich pieców w hutach. Koksownie zmuszone zostały więc do poszukiwania alternatywnych źródeł dostaw dobrych jakościowo węgla koksowych [53].

TABELA 5.7. Import węgla koksowych przez krajowe koksownie

Kraj pochodzenia	Import [mln Mg]					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Czechy	0,57	0,56	1,35	1,87	1,43	1,00
USA	0,0	0,0	0,0	0,40	1,66	0,96
Kolumbia	0,0	0,0	0,0	0,04	0,15	0,07

Źródło: [45, 53]

W 2007 r. poza tradycyjnym importem z Czech, koncern ArcelorMittal Poland SA zakupił pilotażowo pewne ilości węgla koksowych z Kolumbii oraz około 400 tys. ton węgla z USA (tab. 5.7). Również pozostałe krajowe koksownie uzupełniały potrzeby surowcowe zwiększonym importem węgla czeskiego w wysokości od około 15% w przypadku Koksowni Przyjaźń do nawet 50% w przypadku koksowni Victoria z Wałbrzycha (głównie węgiel o niskiej zawartości fosforu).

Duży import miał miejsce również w roku 2009, jednak wynikał on głównie z realizacji zawartych w 2008 r. kontraktów, kiedy koksownie nawet nie przewidywały nadciągającego kryzysu. Import węgla koksowego na potrzeby produkcji koksu kształtował się w ostatnich trzech latach na poziomie od 2,2 do 3,4 mln ton, w większości typu *hard*.

Wysoki udział sprzedaży eksportowej koksu produkowanego w kraju spowodował zmiany w strukturze produkcji – zwiększył się udział koksu metalurgicznego (koks wielkopiecowy, stabilizowany i odlewniczy), który obecnie stanowi ponad 82% produkcji. Pozostałe 18% przypada na koks przemysłowo-opałowy [21].

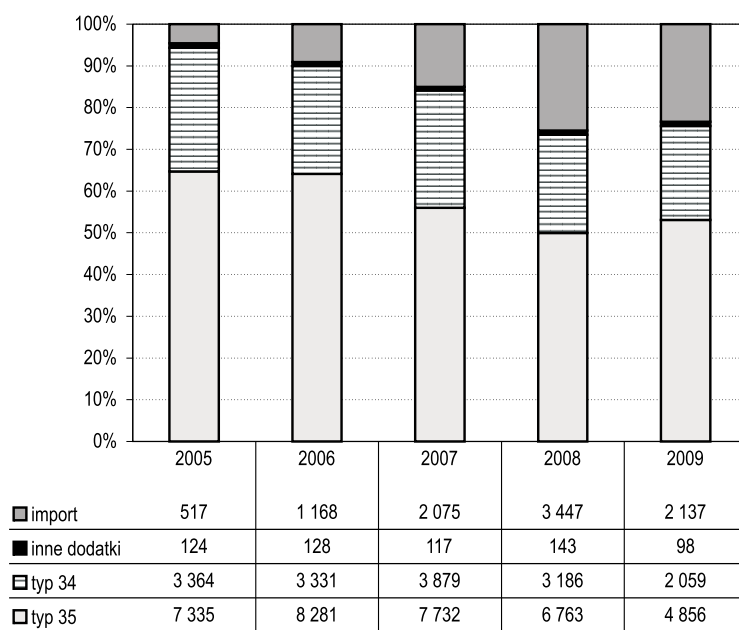
Przy produkcji koksu na eksport wymagany jest lepszy skład mieszanek wsadowych z dużym udziałem węgla typu *hard*. W opinii koksowników, udział wyselekcjonowanych węgla typu 34 (*semi-soft*) w mieszankach do produkcji koksu o bardzo dobrych parametrach jakościowych, może wynosić maksymalnie 15% przy suchym gaszeniu koksu i do 10% przy mokrym gaszeniu koksu. W bateriach z systemem wsadu ubijanego udział ten może być większy – nawet do 40%.

W produkcji koksu kierowanego do krajowych hut średni udział węgla typu 35 w mieszance wsadowej jest niższy w porównaniu z produkcją koksu eksportowego, jednak przy stopniowej modernizacji technologii wielkopiecowej obecnie wzrastają również wymagania dotyczące jakości koksu na rynku krajowym.

Mieszanki do produkcji koksu odlewniczego (w bateriach pracujących w technologii wsadu ubijanego) zawierają około 45% węgla typu 34, kilka procent innych dodatków (np. koksik lub pył koksowy) oraz około 50% węgla koksowego typu 35.

Koks opałowy produkowany jest na bazie węgla typu 34. Stosunkowo niewielkie dodatki węgla ortokoksowych pełnią rolę składników uszlachetniających.

Strukturę zużycia węgla koksowego w krajowym koksownictwie w latach 2005–2009 pokazuje wykres na rysunku 5.4. Udział węgla importowanego w mieszankach wsadowych wzrósł z 4,6% w roku 2005 do 25,5% w roku 2008.



Rys. 5.4. Struktura zużycia węgla koksowego w krajowym koksownictwie w latach 2005–2009 [tys. Mg]
Źródło: opracowanie własne [na podstawie 64]

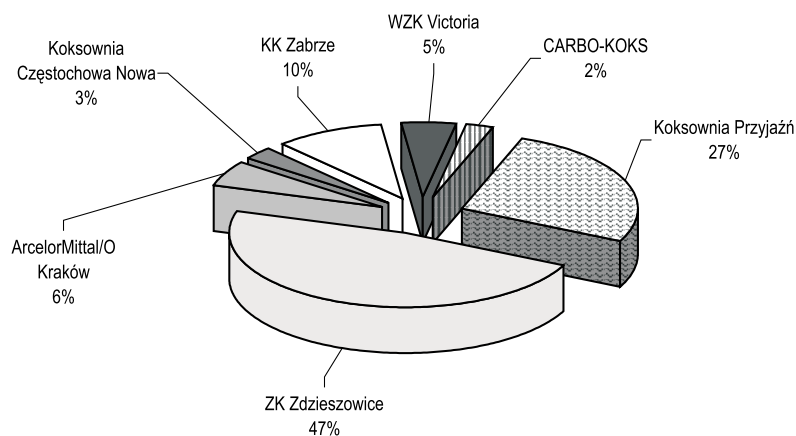
5.5. Prognoza zapotrzebowania rynku krajowego na węgiel koksowy

Poziom zużycia węgla koksowego w kraju determinowany jest zdolnościami produkcyjnymi przemysłu koksowniczego oraz możliwościami zbytu produkowanego koksu.

W ostatnim dziesięcioleciu produkcja koksu w kraju była na poziomie 9–10 mln ton rocznie z wyjątkiem kryzysowego roku 2009, w którym koksownie zmuszone zostały do znacznego ograniczenia wykorzystania mocy produkcyjnych.

Ponad połowa produkowanego w kraju koksu pochodzi z koksowni będących własnością koncernu ArcelorMittal Poland, przy czym koksownia w krakowskim oddziale koncernu

5. Węgiel koksowy w Polsce

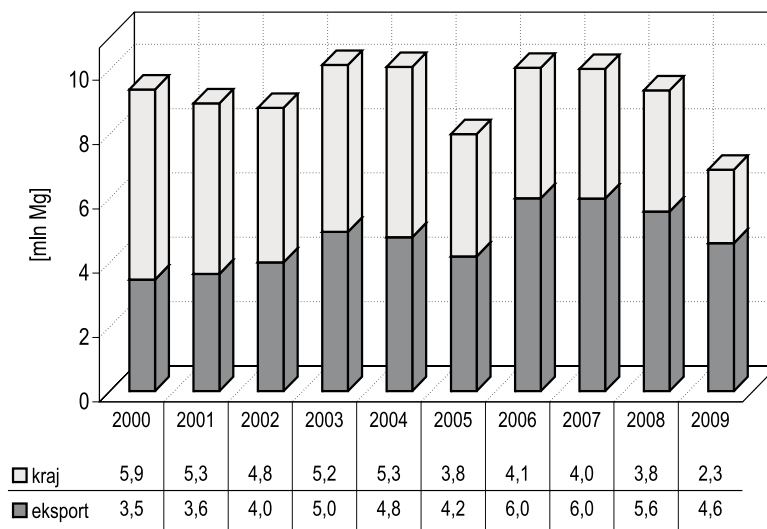


Rys. 5.5. Udział poszczególnych koksowni w krajowej produkcji koksu w roku 2009
Źródło: [21]

wytwarza koks głównie na potrzeby własnej huty. Kolejne pozycje zajmują Koksownia Przyjaźń i KK Zabrze mające 27% i 10% udział w krajowej produkcji koksu.

Udział poszczególnych koksowni w krajowej produkcji koksu pokazuje wykres na rysunku 5.5.

Okres od 2000 roku charakteryzował się systematycznym wzrostem sprzedaży eksportowej koksu przy utrzymującym się spadku zapotrzebowania ze strony odbiorców na rynku krajowym (rys. 5.6). Udział rynku krajowego w ogólnej sprzedaży koksu zmniejszył się z 63% w roku 2000 do 40% w roku 2008 i tylko 33% w roku 2009.



Rys. 5.6. Struktura sprzedaży koksu produkowanego w kraju
Źródło: [21, 54]

Zapotrzebowanie rynku krajowego zmniejszyło się z 5,9 w roku 2000 do 4 mln ton w okresie ostatnich lat. Popyt na koks hutniczy w kraju, kształtujący się od 2006 roku na poziomie około 3 mln ton rocznie, w całości zabezpieczają koksownie należące do koncernu ArcelorMittal Poland (ZK Zdzeszowice, ArcelorMittal/O Kraków). Pozostałymi odbiorcami koksu (w ilości około 1 mln ton) na rynku krajowym są: producenci metali nieżelaznych (huty miedzi, cynku, ołowiu), przemysł sodowy i grafitowy, przemysł wapienniczy, cukrownictwo, przemysł rolniczy (suszarnictwo), przemysł chemiczny (głównie producenci karbidu) oraz sektor komunalny (koks do celów opalowych).

Taka struktura sprzedaży koksu na rynku krajowym powoduje, że w samodzielnych dużych koksowniach, jak Koksownia Przyjaźń czy KK Zabrze udział sprzedaży eksportowej wynosi (odpowiednio) 90% i 80%.

W eksporcie koks sprzedawany jest głównie na rynku europejskim – największymi odbiorcami są koncerny hutnicze z Niemiec, Francji, Austrii, Rumunii. Poza odbiorcami europejskimi (którzy odbierają ponad 80% eksportowanego koksu) niewielkie ilości koksu sprzedawane były również do Egiptu, Algierii czy USA, a w roku 2009 również do Indii, Iranu i Pakistanu.

Polska w 2009 roku – za sprawą drastycznego spadku eksportu z Chin – stała się największym światowym eksporterem koksu. Już w ostatnich miesiącach 2008 roku ilość chińskiego koksu w eksporcie spadła poniżej 300 tys. ton/miesiąc (w porównaniu do 1,6 mln ton w maju). W efekcie eksport chińskiego koksu w 2008 roku zamknął się ilością 12,1 mln ton (spadek 20% w porównaniu z rokiem 2007), a w roku 2009 ograniczony został do 0,54 mln ton [30, 78].

Przyczyn należy szukać na rynku wewnętrznym Chin, gdzie utrzymywał się wysoki popyt ze strony przemysłu hutniczego, przy ograniczaniu produkcji koksu w ramach polityki restrukturyzacji branży prowadzonej przez władze Chin. Ponadto na świecie spadł popyt ze strony zagranicznych odbiorców, a wysokie ceny chińskiego koksu nie zachęcały do zakupów tym bardziej, że na rynku pojawił się koks z nadwyżek produkcyjnych innych producentów (np. z Europy i USA).

W Chinach kłopoty z podażą krajowych węgla koksowych i jego wysokie ceny skłoniły producentów koksu do zwiększonego importu węgla z rynków zagranicznych. Wysokie koszty produkcji koksu oraz wprowadzony w 2008 r. 40% podatek eksportowy sprawiły, że ofertowe ceny chińskiego koksu były znacznie wyższe od cen na rynku w handlu międzynarodowym. W efekcie dotychczasowi odbiorcy chińskiego koksu jak Indie czy też europejskie stalownie szukali innych źródeł dostaw.

Pozwoliło to producentom koksu w Polsce w tym kryzysowym okresie utrzymać wysoki eksport na poziomie 4,5 mln ton.

Prognoza wzrostu mocy produkcyjnych krajowych koksowni

W ostatnim dziesięcioleciu w polskim koksownictwie nastąpiły istotne zmiany związane zarówno z przekształceniami własnościowymi, jak też modernizacją zdolności produkcyjnych. Dysponujemy coraz nowszą bazą wytwórczą koksu, spełniającą przewidywane prawem wymogi w zakresie ekologii. Włączenie do eksploatacji nowych baterii koksowniczych i wyłączenie starych, wyeksploatowanych, zmieniło na korzyść strukturę wiekową zdolności produkcyjnych

koksowni w kraju [54]. Koksownie nadal prowadzą inwestycje związane z modernizacją baterii i jeżeli wszystkie zamierzenia zostaną zrealizowane, to moce wytwórcze koksownictwa wzrosną z 10 mln ton w roku 2010 do prawie 12 mln ton w roku 2020 (tab. 5.8).

TABELA 5.8. Zdolności produkcyjne koksowni w Polsce w latach 2010 i 2020 [mln Mg]

Koksownia	Zdolności produkcyjne	
	2010	2020
Zakłady Koksownicze Zdzeszowice Sp. z o.o	4,30	4,40
ZK Arcelor Mittal Poland SA oddz. Kraków	0,66	0,66
Koksownia Przyjaźń Sp. z o.o	2,70	3,40
Kombinat Koksowniczy Zabrze SA (3 koksownie)	1,22	1,22
Wałbrzyskie Zakłady Koksownicze Victoria SA	0,62	0,62
Koksownia Częstochowa Nowa Sp. z o.o.	0,30	1,30
CARBO-KOKS Sp. z o.o.	0,24	0,24
Razem	10,04	11,84

Źródło: [21]

W zależności od stopnia realizacji planów inwestycyjnych, jak i konieczności wyłączenia starych, wyeksploatowanych baterii zdolności produkcyjne krajowego koksownictwa mogą być zróżnicowane. Należy założyć konieczność wyłączenia z eksploatacji starych baterii koksowniczych w koksowni w Częstochowie oraz w koksowni Bo-Carbo po roku 2017. Według ostrożnych szacunków można przyjąć, że moc produkcyjna krajowych koksowni będzie się utrzymywać na poziomie około 11–11,8 mln ton/rocznie.

Stopień wykorzystania zdolności produkcyjnych jest w dużym stopniu zależny od sytuacji rynkowej – w przypadku koniunktury osiąga on wysokie wartości zbliżone do 100%, natomiast w przypadku okresowych korekt lub załamania na rynku, zdolności te mogą być wykorzystywane w znacznie niższym stopniu. Dotyczy to zwłaszcza koksowni samodzielnych, nie zintegrowanych z zakładami hutniczymi, które są najbardziej wrażliwe na sytuację rynkową.

Prognoza popytu na koks na rynku krajowym

Ocenia się, że w nadchodzących latach na rynku krajowym zapotrzebowanie na koks nie ulegnie istotnej zmianie i będzie się utrzymywało na poziomie około 4 mln ton, o ile nie nastąpi ograniczenie produkcji w hutach surowcowych.

W hutnictwie krajowym, prowadzone inwestycje nie mają na celu zwiększenia ilości produkowanej stali surowej, a koncentrują się głównie na poprawie jakości produkowanych wyrobów i zwiększeniu ich asortymentu. Z przedsięwzięć ograniczających zużycie koksu, jak dotąd, jedynie w Hucie w Krakowie uruchomiono instalację do wdmuchiwania pyłu węglowego PCI, ale koncern zapowiada również budowę takiej instalacji w Hucie w Dąbrowie Górniczej.

Właściciel prowadzi modernizację technologii wielkopiecowej w kierunku wzrostu wydajności wielkich pieców przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia koksu. W takim przypadku przy produkcji surówki żelaza na poziomie 5–5,5 mln ton, zapotrzebowanie na koks wielkopiecowy może wynosić jedynie około 2,7–3 mln ton rocznie.

Popyt na koks ze strony pozostałych odbiorców (huty metali nieżelaznych, cukrownie, przemysł wapienniczy i chemiczny) szacowany jest na około 0,8–1 mln ton, łącznie z wykorzystaniem koksu do celów opałowych, które od lat ma tendencję spadkową i perspektywicznie nie będzie istotne dla bilansu produkcji i zużycia koksu. Na tym segmencie rynku niewielki wzrost zużycia koksu ma miejsce jedynie przy korzystnych relacjach cen koksu opałowego w stosunku do innych paliw [54].

Uwarunkowania sprzedaży koksu na rynkach zagranicznych

Porównanie zapotrzebowania rynku wewnętrznego (3,5–4 mln ton) z planami rozbudowy mocy produkcyjnych krajowych koksowni pokazuje, że ilość koksu sprzedawanego na rynkach zagranicznych będzie w latach następnych czynnikiem decydującym o poziomie produkcji koksu w Polsce.

Zakładając średnie wykorzystanie mocy produkcyjnych w wysokości 90% produkcja koksu w długiej perspektywie czasowej może kształtować się na poziomie około 10 mln ton koksu rocznie, co oznacza że około 6–6,5 mln ton koksu musi być przedmiotem eksportu.

Przyszłość samodzielnie funkcjonujących zakładów koksowniczych (nie zintegrowanych z hutami) uzależniona jest od utrzymania pozycji stabilnego dostawcy dobrej jakości koksu wielkopiecowego na rynek międzynarodowy.

Wskaźniki jakościowe koksu produkowanego w Polsce cechują się wyższymi zawartościami fosforu i związków alkalicznych oraz większą reaktywnością CRI i niższą wytrzymałością poreakcyjną CSR, przy czym w koksowniach stosujących suche chłodzenie, koks osiąga lepsze wskaźniki CRI, CSR i M40 w porównaniu do koksu produkowanego z takiej samej mieszanki, ale gaszonego na mokro.

Jakość wytwarzanego koksu kształtowana jest przez szereg czynników, przy czym największy wpływ wywiera jakość surowca, z którego został wyprodukowany.

Przy średnim wskaźniku zużycia węgla na tonę koksu w wysokości 1,4 zapotrzebowanie na węgiel koksowy wyniesie około 14 mln ton, w tym na węgiel typu 35 około 9,8 mln ton.

Porównanie prognozowanej wielkości produkcji węgla koksowego w Polsce (tab. 5.5) z planowaną wielkością produkcji koksu przez krajowe koksownie pokazuje, że nawet przy całkowitej rezygnacji z eksportu węgla przez JSW SA (czego spółka nie planuje), producenci koksu będą nadal zmuszeni do importu węgla koksowego typu *hard* z rynków zamorskich. Zapotrzebowanie na węgiel typu 34 (*semi-soft*) będzie w pełni pokryte przez krajowych producentów.

Z uwagi na planowane przez krajowe koksownie działania w kierunku zmiany systemu napełniania komór z zasypowego na ubijany, a także zamierzeniami inwestycyjnymi w brykietowanie wsadu czy podsuszanie wsadu, średni wskaźnik zużycia węgla typu 35 może ulec obniżeniu. Stworzy to możliwość zwiększenia wykorzystania węgla typu 34 w mieszankach koksowniczych przy utrzymaniu dobrej jakości koksu.

Podsumowanie

Sytuacja na światowym rynku węgla koksowego jest bezpośrednio powiązana z wielkością zapotrzebowania i dynamiką wzrostu produkcji stali, zwłaszcza że w skali globalnej udział stali produkowanej na bazie surowki wielkopiecowej wzrósł do prawie 70% i utrzymanie takiego wskaźnika prognozowane jest w długim horyzoncie czasowym. Determinuje to wielkość zapotrzebowania na koks, gdyż udział hutnictwa żelaza w strukturze światowego zużycia tego paliwa kształtuje się na poziomie ponad 80%.

Rozwój światowego koksownictwa jest w głównej mierze efektem rozwoju i industrializacji krajów azjatyckich jak Chiny i Indie, jak też rosnącej gospodarki Brazylii i Rosji (tzw. grupa BRIC). Zwiększenie mocy produkcyjnych przemysłu koksowniczego ma miejsce zarówno w krajach posiadających własne zasoby węgla koksowego, jak też w krajach, które w znacznym stopniu uzależnione są od importu tego surowca.

Dynamiczny rozwój przemysłu hutniczego i branży koksowniczej od początku obecnego stulecia spowodował wzrost światowego popytu na węgiel koksowy zarówno na rynkach wewnętrznych, jak i w handlu na rynkach międzynarodowych, co przy małej elastyczności zwiększenia podaży w krótkim terminie, doprowadziło do zachwiania równowagi rynkowej.

Analiza dotychczasowej sytuacji na międzynarodowym rynku węgla metalurgicznych pokazuje, że rynek jest słabo zbilansowany i każde zdarzenia losowe ograniczające podaż węgla ze strony głównych światowych eksporterów powodują poważne problemy z dostępnością do najlepszych jakościowo węgla typu *hard*, a także wahania ich cen. Ograniczona podaż węgla przy rosnącym popycie stworzyła możliwości okresowego podnoszenia cen do bardzo wysokich dotychczas niespotykanych poziomów, jak miało to miejsce w 2005 i w 2008 roku.

Aktualnie, światowe koncerny związane z branżą górnictwem i hutniczą, prowadzą wiele inwestycji w rozwój mocy wydobywczych węgla koksowego, co spowoduje poprawę podaży i ustabilizowanie rynku.

Liczne prognozy na lata przyszłe wskazują, że w długoletniej perspektywie zapotrzebowanie na stal surową – a więc i na koks – będzie miało trend wzrostowy, co daje krajowej branży koksowniczej gwarancję stabilnego funkcjonowania. Należy jednak mieć na uwadze, że wysoki udział eksportu w sprzedaży produkowanego koksu powoduje, że krajowi producenci są szczególnie narażeni na zmiany koniunktury na światowych rynkach stali i koksu.

W Europie Polska jest wiodącym producentem węgla koksowego i do niedawna była w stanie zabezpieczyć popyt ze strony krajowych producentów koksu. Jednak w ostatnich latach kłopoty z wydobywaniem spowodowały, że producenci koksu zostali zmuszeni do importu węgla z rynków zamorskich. Ponieważ Polska jest w tej chwili największym eksporterem koksu, już nie tylko na rynku europejskim ale i w świecie, decydujące znaczenie dla producentów ma dostęp do bazy wysokojakościowych węgla koksowych.

W związku z ujemnym bilansem węgla typu 35 jako bezwzględnie priorytetowe potraktować należy inwestycje determinujące poziom wydobycia węgla ortokoksowych, a także inwestycje w zakresie modernizacji zakładów przeróbki mechanicznej węgla w kopalniach. Jest to uzasadnione prognozowanym wysokim zapotrzebowaniem na ten typ węgla oraz wysokimi i stabilnymi jego cenami.

Istotne są też inwestycje związane z produkcją węgla gazowo-koksowych o dobrych właściwościach koksotwórczych typu 34. Z uwagi na planowane przez krajowe koksownie działania w kierunku zmiany systemu napelniania komór z systemu zasypowego na system ubijany, a także zamierzeniami inwestycyjnymi w brykietowanie wsadu czy podsuszanie wsadu, zapotrzebowanie na ten typ węgla będzie wzrastać. Inwestycje te pozwolą utrzymać dobrą jakość koksu przy zwiększonym udziale słabszych jakościowo węgla typu 34 w mieszankach koksowniczych.

Zgodnie z założeniami dokumentu rządowego „Korekta programu rządowego Strategia działalności górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 2007–2015”, przyjętym przez Radę Ministrów w dniu 18.08.2009 r., zakończony został proces tworzenia Grupy Węglowo-Koksowej na bazie Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA poprzez włączenie do grupy kapitałowej Kombinatu Koksochemicznego Zabrze SA.

Grupa ta skupia znaczną część europejskiej produkcji węgla koksowego i koksu metalurgicznego. Koks produkowany głównie na bazie węgla koksowych z kopalń JSW kierowany jest w przeważającej ilości na rynki zagraniczne. Koszt wsadu węglowego jest dominującym składnikiem kosztów produkcji koksu, więc relacje – cena koksu/cena węgla koksowego – mają decydujący wpływ na utrzymanie rentowności produkcji i konkurencyjności na rynkach zagranicznych. Grupa skupiająca zarówno kopalnie węgla jak i koksownie będzie w stanie elastycznie reagować na zmiany sytuacji rynkowej i czerpać korzyści z intensyfikacji produkcji koksu.

Literatura

- [1] ADAMCZYK A., MOKRZYCKI E., 1981 – Wpływ oraz zachowanie się popiołu i siarki w procesie koksowania. Mat. Sympozjum nt. Wybrane zagadnienia ekonomiczne procesów pozyskania i przetwarzania węgla. SITG Zarząd Główny, Kraków.
- [2] ARENDT P., HUHN F., KUHL H., SBIERCZIK G., 2000 – CRI and CSR – An Assessment of Influential Factors. Cokemaking International nr 1.
- [3] BEPLER E., GROßPIETSCH K.H., HERMANN W., LUNGEN H.B., 2000 – Evolution of Coke Quality in the Past Five Decades to Meet the Requirements of the Blast Furnace Operators. Cokemaking Internationale 1/2000.
- [4] BLASCHKE W., MOKRZYCKI E., PUDŁO W., 1982 – Analiza wpływu zmian zawartości popiołu na cenę i koszt mieszanek koksowniczych. Archiwum Górnictwa, t. 27, z. 3.
- [5] BLASCHKE W., 1985 – Efektywność wzbogacania węgla kamiennych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 1, z. 1.
- [6] BLASCHKE W., 2009 – Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków.
- [7] BLASCHKE W., LORENZ U., OZGA-BLASCHKE U., 2009 – Krajowa baza surowcowa dla przemysłu energochemicznego przetwórstwa węgla. Karbo nr 4/4.
- [8] BRYCZKOWSKI A., TRAMER A., KARCZ A., 1998 – Analiza procesowa skutków podsuszania wsadu w ciągu technologicznym koksowni. Karbo-Energochemia-Ekologia nr 12.
- [9] BUJANOWSKA B., BIENKOWSKA M., 1992 – Własności plastyczne węgla i mieszanek a struktura otrzymanych półkoksów i koksów. Karbo nr 5.
- [10] BUSZKO R., MIANOWSKI A., 2001 – Wskaźniki CRI i CRS wysokogatunkowego koksu wielkopieczowego jako kryterium oceny właściwości węgla koksujących. Karbo nr 2
- [11] CHANIN I.M., JUSZYN W.W., 1952 – Bilans materiałowy i bilans cieplny pieców koksowniczych. PWT Katowice.
- [12] CHRUŚCIEL Z., 1976 – Zdolność odbicia światła wityrytów polskich węgla kamiennych i jej korelacja z innymi wskaźnikami stopnia uwęglenia. Przegląd Górniczy nr 12.
- [13] CHRUŚCIEL Z., KARKOSZ R., MIECZKOWSKI A., MIELECKI T., 1984 – Nowa międzynarodowa klasyfikacja węgla – aktualny stan zagadnienia. Przegląd Górniczy nr 10.
- [14] COCHRANE G., 2009 – Metallurgical Coal Markets Mar 09 – www.coaltrans.com
- [15] DĄBKOWSKI K., MERTAS J., 2008 – Złoża kopalń Kompanii Węglowej SA. Wiadomości Górnicze 12/2008.
- [16] GANDERSKA-WOJTACZKA K., 2010 – Zagospodarowanie nowych złóż węgla kamiennego – powiększenie bazy zasobowej przez Kompanię Węglową S.A. Materiały XXIV Konferencji z cyklu Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarcie Krajowej. Zakopane, Zeszyty Naukowe nr 78, IGSMiE PAN.
- [17] GROßPIETSCH K.H., LUNGEN H.B., 2001 – Coke Quality Requirements by European Blast Furnace Operators. Cokemaking International vol. 13, 1/2001.

- [18] GRYGLEWICZ G., 1999 – Przemiany związków siarki w procesie koksowania węgla. Karbo nr 4.
- [19] GRZESIK K., KOZAKIEWICZ R., MIKOŁAJCZAK J., 2008 – Środowiskowe uwarunkowania wznowienia eksploatacji górniczej złoża węgla kamiennego „Dębieńsko I” w Czerwionce-Leszczyny. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 24, z. 2/4. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków.
- [20] HEILPERN S., 1997 – Wpływ stopnia uwęglenia węgla koksujących na ich parametry koksotwórcze i plastometryczne. Ekspertyza zlecona przez „Węglkok” S.A. Zabrze.
- [21] HEREŹNIAK W., JARNO M., WARZECHA A., 2010 – Perspektywy rozwoju rynku dla koksu produkowanego w kraju. Konferencja Koksownictwo 2010, 6–8 października, Zakopane.
- [22] HERMAN W., 1997 – Influence of Raw Material and Coke Oven Operation on CSR and CRI – Values – General Aspects. Cokemaking International, vol.9 1/1997.
- [23] HERMAN W., 2002 – Reactivity and Coke Strength. Part 1: Coke Reactivity – Summary and Outlook. Cokemaking International nr 1.
- [24] HOGAN L., THORPE S., GRAHAM P., MIDDLETON S., 1997 – Coal price – quality relationships and the outlook for coal. Outlook 97, Minerals and Energy, Vol. 3. Proceeding of the National Agricultural Outlook Conference, Canberra.
- [25] HOGAN L., FAINSTEIN M., COPELAND A., 2001 – Leading Economic Indicators for Australia's Contract Coal Prices in the Japanese Market. ABARE report to the Department of Industry, Tourism and Resources, Canberra.
- [26] JASIEŃKO S. i inni, 1995 – Chemia i fizyka węgla. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [27] JASIEŃKO S., BIEGAŃSKA C., ŚWIETLIK U., KIDAWA H., 1997 – Atlas mikroskopowych typów struktur występujących w węglach kamiennych i koksach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [28] JASKIER B., BUDZISZEWSKI Z., PLUTA Z., 2008 – Wybrane zagadnienia rozwoju technicznego i technologicznego kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Wiadomości Górnicze 4/2008.
- [29] JASZCZYK J., PABIAN L., WALNY B., 2009 – Restrukturyzacja techniczna w kopalni „Budryk” JSW S.A. Wiadomości Górnicze 6/2009.
- [30] JONES A., 2010 – Review of Worldwide Coke Production & Capacity. ITA Conference, Krakow, Poland, June 2010.
- [31] JONES A., 2010 – Will there be metallurgical coke shortages in 2011? Intertech-Pira's Eurocoke Conference, Lisbon, Portugal, April 2010.
- [32] KACZMAREK W., PASEK W., 2008 – Stabilizacja zawartości wilgoci w mieszanke wsadowej dla baterii koksowniczych systemu ubijanego. Konferencja Koksownictwo 2007, Karbo, Wydanie specjalne.
- [33] KARCZ A., 1975 – Wpływ zawartości popiołu na własności koksotwórcze węgla i mieszanek węglowych stosowanych do produkcji koksu metalurgicznego. Zeszyty naukowe AGH, Matematyka-Fizyka-Chemia z. 23, Kraków.
- [34] KARCZ A., 1991 – Czynniki kształtujące wartość użytkową i cenę węgla kamiennych przeznaczonych do produkcji koksu. Przegląd Górniczy nr 2.
- [35] KARCZ A., 1991 – Koksownictwo. Część pierwsza. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- [36] KARCZ A., 1995 – Problematyka alkaliów w procesach przemian: węgle koksowe-koks-surówka wielkopiecową. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 11, z. 2.
- [37] KARCZ A., STRUGAŁA A., WOYCIECHOWSKI W., WARZECHA A., 1996 – Bilans masowy procesu koksowania w zakładzie stosującym suche chłodzenie koksu. Karbo-Energochemia-Ekologia nr 11.

- [38] KARCZ A., STRUGAŁA A., 2001 – Ciśnienie rozprężania. Cz. IV. Mechanizm powstawania ciśnienia rozprężania. Karbo nr 7–8/2001.
- [39] KARCZ A., 2002 – Możliwości ograniczenia zawartości alkaliów i chloru w koksie wielkopiecowym. Karbo 10/2002.
- [40] KARCZ A., STRUGAŁA A., 2008 – Zwiększenie szans na wykorzystanie krajowej bazy węgla koksowych poprzez działania technologiczne w zakresie przygotowania mieszanek wsadowych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 24, z. 1/1.
- [41] KARCZ A., WINNICKA G., KOSEWSKA M., OZGA-BLASCHKE U., 2008 – Propozycja zmian w polskiej klasyfikacji węgla koksowych według typów. Karbo 2008, Wydanie Specjalne.
- [42] KOSZOREK A., MIANOWSKI A., 1999 – Emisja związków chloru w procesie koksowania. Karbo nr 6.
- [43] KOWALCZYK J., STRZELEC G., 2004 – Jastrzębska Spółka Węglowa SA – jakość produkcji i technologia wzbogacania węgla. Inżynieria Mineralna. Lipiec–Grudzień.
- [44] KUGIEL M., 2009 – Aktualne i perspektywiczne zasoby oraz wydobycie węgla gazowo-koksowych o dobrych właściwościach koksotwórczych w Kompanii Węglowej SA. Konferencja Koksownictwo 2008. Karbo 2009, Wydanie Specjalne.
- [45] LATOCHA W., SIKORSKI CZ., STRUGAŁA A., 2010 – Technologiczna ocena możliwości dywersyfikacji dostaw węgla do krajowych koksowni. Materiały XXIV Konferencji z cyklu Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarcie Krajowej. Zakopane. Zeszyty Naukowe nr 78 IGSMiE PAN.
- [46] LUTYŃSKI A. 2008 – Mechaniczna przeróbka węgla kamiennego w perspektywie roku 2020. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 24, z. 1/2.
- [47] MOKRZYCKI E., 1977 – Określenie optymalnych ekonomicznie zawartości popiołu w komponentach węglowych tworzących mieszanek do produkcji koksu wielkopiecowego. Praca doktorska, Kraków.
- [48] NIEMIEC G., 2009 – Jastrzębska Spółka Węglowa – stan obecny i perspektywy rozwoju. Seminarium Naukowe Komitetu Górnictwa Polskiej Akademii Nauk.
- [49] OZGA-BLASCHKE U., 2003 – Metoda powiązania parametrów jakościowych węgla koksowego z jego wartością użytkową. Studia, Rozprawy, Monografie nr 119, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [50] OZGA-BLASCHKE U., 2007 – Międzynarodowy rynek węgla koksowego. Studia, Rozprawy, Monografie nr 141, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [51] OZGA-BLASCHKE U., 2008 – Relacje cen węgla koksowego i koksu metalurgicznego na rynkach międzynarodowych. Polityka Energetyczna t. 11, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [52] OZGA-BLASCHKE U., 2009 – Relacje cen węgla koksowych i energetycznych na rynkach międzynarodowych. Polityka Energetyczna t. 12, z. 2/2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [53] OZGA-BLASCHKE U., 2010 – Uwarunkowania importu węgla koksowego do Polski. Przegląd Górniczy nr 3–4.
- [54] OZGA-BLASCHKE U., LORENZ U., BLASCHKE S., OLKUSKI T., 2008 – Struktura krajowej produkcji koksu na tle trendów w gospodarce światowej. Wydawnictwo IGSMiE PAN, ISBN 978-83-60195-81-9 (redakcja U. Ozga-Blaschke).
- [55] PEARSON D.E., 1980 – The quality of Western Canadian coking coal. The Canadian Mining and Metallurgical Coal Bulletin.
- [56] PLUTECKI J., NIEMIEC G., JAREK A., 2010 – Perspektywy rozwoju bazy zasobowej Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Przegląd Górniczy nr 3–4,
- [57] PROBIERZ K., MARCISZ M., 2009 – Szacowanie jakości węgla w złożu według Polskiej Normy i Międzynarodowego Systemu Kodyfikacji Węgla, z użyciem programu Surfer i AutoCAD. Przegląd Górniczy nr 3–4.

- [58] ROGA B., TOMKOW K., 1971 – Chemiczna technologia węgla. WNT, Warszawa.
- [59] RYAN B.D., PRICE J.T., 1993 – The Predicted Coke Strength after Reaction Values of British Columbia Coals, with Comparisons to International Coals. Geological Fieldwork 1992, Paper 1993-1. www.em.gov.bc.ca/mining
- [60] SHARMA N., 2008 – Indian Metallurgical Coke Demand, Supply, Consumption and Future Plans. 12th Annual Met Coke World Summit 2008, Chicago.
- [61] STRUGAŁA A., 1999 – Ocena reologicznych właściwości węgla w stanie termicznego uplastycznienia. Karbo nr 11.
- [62] STRUGAŁA A., 1998 – Substancja mineralna węgla kamiennego i jej przemiany w procesie koksowania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 15, z. 1.
- [63] STRUGAŁA A., BYTNAR K., 2004 – Związki alkaliczne w koksie – źródła i formy ich występowania. Konferencja Koksownictwo' 2003, Karbo, Wydanie specjalne.
- [64] SWIEBODA B., MIERZWIŃSKI S., 2010 – Problematyka projektowania i modernizacji instalacji technologicznych dla polskiego koksownictwa. Konferencja Koksownictwo 2010, 6–8 października, Zakopane.
- [65] ŚWIETLIK U., WIKTORSKI T., 2006 – Wpływ substancji mineralnej na proces pirolizy węgla koksującego. Karbo nr 1,
- [66] TUREK M., KUGIEL M., 2008 – Stan i perspektywy funkcjonowania Kompanii Węglowej SA. Wiadomości Górnicze 12/2008.
- [67] WINNICKA G., BRYCZKOWSKI A., 1999 – Wpływ właściwości węgla i warunków prowadzenia procesu na uzysk lotnych produktów pirolizy. Karbo nr 5.
- [68] ZAGÓROWSKI J., CZORNIK G., 2010 – Rozwój Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Materiały XXIV Konferencji z cyklu Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarcie Krajowej. Zakopane, Zeszyty Naukowe nr 78 IGSMiE PAN.
- [69] ZAGÓROWSKI J., CZORNIK G., ZIOMBER S., 2009 – Produkcja węgla koksowego w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. Materiały XXIII Konferencji z cyklu Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarcie Krajowej, październik 2009, Zakopane.
- [70] ZUBKOVA V., SKLJAR M., PREOBRAŽENSKAJA V., PREŽDO V., 1997 – Rola warstwy plastycznej węgla w procesie koksowania. Karbo-Energochemia-Ekologia nr 6.
- [71] Australian commodities, vol. 17, no 1 March quarter 2010, no 2 June quarter 2010, no 3 September quarter. Steel and steel-making raw materials. Outlook to 2015.
- [72] Argus Russian Coal, www.argusmedia.com
- [73] Coal Information 2010 (with 2009 date). Wyd. IEA, Paryż.
- [74] Commodities – Iron Ore and Coking Coal: Lowering short term price forecasts.. Goldman Sachs IBWere Investment Research, May 2010.
- [75] Commodities – Iron Ore and Coking Coal: Price forecast upgrade. Goldman Sachs IBWere Investment Research, March 2010.
- [76] Community hard coal imports from third countries, <http://ec.europa.eu/energy/coa>
- [77] ICR – International Coal Report. Wyd. Platts – The McGraw Hill Companies, England.
- [78] ICR Coal Statistics Monthly. Wyd. Platts – McGraw Hill Companies, England.
- [79] Informacja o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa. www.mg.gov.pl
- [80] Inside Coal, www.coalportal.com
- [81] Koksownictwo. Red. Zieliński H., Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1986.

- [82] Methodology and Specifications for Coking Coal Queensland Index (CCQ) and Coking Coal Hampton Roads Index (CCH). Prepared by Energy Publishing. September 9, 2010 – Version 15.
- [83] OAO Rapsadskaya – Russia's Leader in Coking Coal. VI International Conference "CIS Coal 2010". March 2010, Ukraine.
- [84] The Market for Solid Fuels in the Community in 2008 and Estimates for 2009. European Commission. Brussels, 28.08.2010.
- [85] US Met Coal and Export Market. Xcoal Energy & Resources. IntertechPira's 6th Annual Eurocoke Summit 2010. April 28, 2010.
- [86] World Steel in Figures 2008, 2009, 2010 IISI.
- [87] www.bhpbilliton.com
- [88] www.crugroup.com
- [89] www.elkvalleycoal.ca
- [90] www.eia.doe.gov
- [91] www.jsw.pl
- [92] www.kwsa.pl
- [93] www.meps.co.uk
- [94] <http://pubs.er.usgs.gov>
- [95] www.russiancoal.com/coalminigrussia
- [96] www.worldsteel.org
- [97] www.wnp.pl

IGSMiE PAN – Wydawnictwo, Kraków 2010

Nakład 150 egz. Objętość ark. wyd. 6,5; ark. druk. 9,0 (×8)
Druk i oprawa: Drukarnia „PATRIA” Beata Szul, Kraków, ul. Domagały 23