

Władysław LATOCHA*, Czesław SIKORSKI*, Andrzej STRUGAŁA**

Technologiczna ocena możliwości dywersyfikacji dostaw węgla do krajowych koksowni

Streszczenie: Wzrastające wymagania odbiorców koksu odnośnie jego jakości przy ograniczonej podaży węgla ortokoksowych z krajowych kopalń zmusza polskie koksownie do rozszerzenia swej bazy surowcowej o węgle pochodzące z importu. Zakłady Koksownicze Zdzeszowice od kilku już lat są największym konsumentem takich węgla. W artykule przedstawiono szczegółową charakterystykę stosowanych dotychczas w tej koksowni węgla amerykańskich, australijskich, kolumbijskich, czeskich i rosyjskich. Charakterystyka ta obejmuje wyniki standardowych analiz laboratoryjnych (analiza techniczna, ocena własności koksotwórczych) jak również ocenę parametrów jakościowych koksu produkowanego z tych węgla w instalacji doświadczalnej Karbotest. Przedstawiono także wyniki oceny koksu wyprodukowanego podczas prób komorowych przeprowadzonych w bateriach napełnianych systemem zasypowym oraz ubijanym. Próby takie przeprowadzono zarówno dla pojedynczych węgla importowanych jak też dla mieszanek skomponowanych z węgla importowanych i węgla krajowych. Na podstawie wspomnianych wyników autorzy dokonali klasyfikacji technologicznej importowanych jak też krajowych węgla koksowych stosowanych dotychczas w Zakładach Koksowniczych Zdzeszowice.

Słowa kluczowe: węgiel, właściwości koksotwórcze, koksownictwo, jakość koksu

Technological evaluation of the possibility of diversifying the supply of coals to domestic coking plants

Abstract: Increasing quality requirements for coke, accompanied by a limited supply of hard-type coking coals from domestic coal mines, make it necessary for Polish coking plants to import coals in order to broaden their raw materials basis. The Zdzeszowice Coking Plant has been the biggest consumer of imported coking coals for several years. The paper presents a thorough characteristics of American, Australian, Columbian, Czech and Russian coals applied so far at this coking plant. The characteristics includes results of standard laboratory tests, an evaluation of quality parameters of coke produced from these coals in the Karbotest experimental device as well as in coke-oven batteries of both, top charging and stamp charging type. Also, the paper contains

* Mgr inż., Zakłady Koksownicze Zdzeszowice Sp. z o.o.

** Dr hab. inż., prof. AGH, Wydział Energetyki i Paliw; e-mail: strugala@agh.edu.pl

results of quality evaluation of coke produced from blends of domestic and imported coals. On the basis of these results, the authors have classified both the domestic and the imported coking coals.

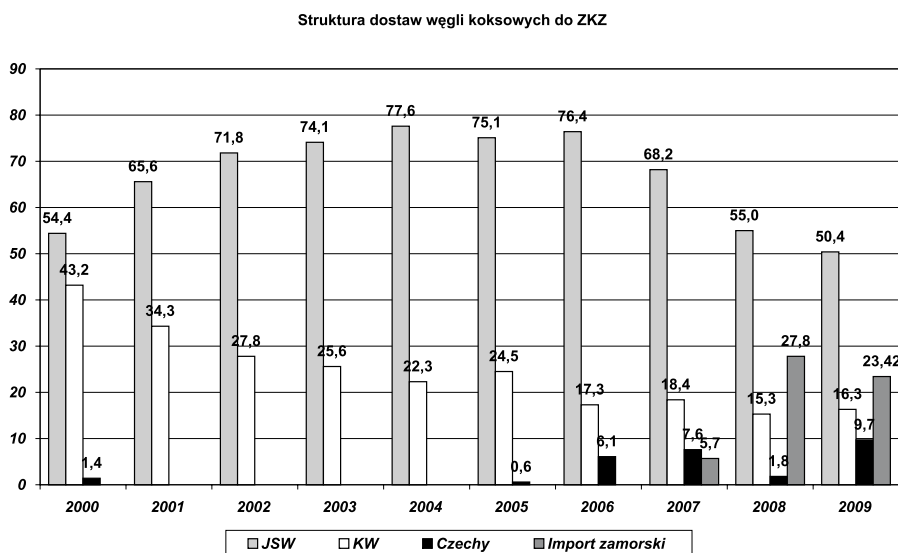
Key words: coal, coking properties, cokemaking, coke quality

Wprowadzenie

W przeszłości surowcem do produkcji koksu w Polsce były w zasadzie wyłącznie węgle krajowe, a w przypadku koksowni zlokalizowanych przy kopalniach był to często węgiel dostarczany taśmociągami bezpośrednio z kopalni (głównie dotyczyło to węgla typu 34). Surowiec węglowy pochodził z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej (węgle ortokoksowe), kopalń Kompanii Węglowej (węgle gazowo-koksowe) oraz – aż do ich zamknięcia – także z kopalń wałbrzyskich i kopalni Gliwice. Niewielki tylko udział w mieszankach węglowych posiadały węgle czeskie z kopalń ostrawsko-karwińskich, a we wcześniejszych latach także węgle z byłego ZSRR.

Wzrastające wymagania jakościowe odbiorców koksu wymuszały jednak sukcesywny wzrost udziału w mieszankach koksowniczych węgla ortokoksowego (typ 35), których praktycznie jedynym dostawcą na naszym rynku jest od lat JSW SA. Z czasem węgle te stały się głównym składnikiem mieszanek wsadowych do produkcji koksu hutniczego, a ich udział w mieszankach sięgnął 90%. Ograniczone zdolności produkcyjne kopalń JSW SA sprawiły, że od roku 2007 popyt na węgle ortokoksowe przewyższa ich krajową podaż, co zmusiło polskie koksownie do sięgnięcia po ten surowiec aż za ocean.

W roku 2007 import zamorski wyniósł 314 tys. ton, a w roku 2008 ponad 1,5 mln ton. W roku 2009 miał on być bliski 3 mln ton, jednak z uwagi na ogólny kryzys gospodarczy nie osiągnął tej wartości. W ostatnim czasie wraz z powrotem koniunktury na rynku



Rys. 1. Struktura dostaw węgla do ZKZ Dzieszowice w latach 2001–2009

Fig. 1. Structure of coal supply to the Zdzieszowice Coking Plant (2001–2009)

koksu ponownie obserwuje się wzrost zainteresowania krajowych koksowni importem węgla koksowych, zwłaszcza zamorskim.

Głównym konsumentem importowanych węgla koksowych są Zakłady Koksownicze Zdzeszowice. Na rysunku 1 oraz w tabeli 1 przedstawiono kształtowanie się struktury i wielkości dostaw węgla dla tej koksowni. Jako największy konsument węgla importowanych w Polsce, ZK Zdzeszowice posiadają dużą już wiedzę o właściwościach tych węgla, a także doświadczenie w zakresie optymalnego ich wykorzystania do produkcji wysokojakościowego koksu zarówno w technologii wsadu zasypowego jak i ubijanego.

TABELA 1. Wielkość dostaw węgla do ZK Zdzeszowice w latach 2006–2009 [Mg]

TABLE 1. Coal supply to the Zdzeszowice Coking Plant (2006–2009)

Rok	Typ 34 – dostawy krajowe	Typ 35 – dostawy z JSW	Import zamorski
2006	1 301 711	3 630 912	0
2007	1 456 267	3 472 965	313 588
2008	1 096 730	2 779 267	1 529 688
2009	679 127	2 064 145	965 070

Źródło: [1]

Węgiel typu 34 dostarczało głównie 11 kopalń Kompanii Węglowej, węgiel typu 35 dostarczały 4 kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej oraz 3 kopalnie czeskie. Systematycznie wzrastał w mieszankach wsadowych udział węgla ortokoksowych przy jednoczesnym zmniejszaniu się udziału węgla gazowo-koksowych. Wraz ze wzrostem produkcji koksu rosła też ilość dostawców węgla. W rekordowym pod tym względem roku 2008 węgiel dostarczało do ZK Zdzeszowice 26 kopalń w tym 13 kopalń zza oceanu.

1. Charakterystyka bazy węglowej polskich koksowni

Wraz z rozwojem technologii wielkopiecowej znacznemu obniżeniu uległo jednostkowe zużycie koksu, głównie z powodu wprowadzenia technologii PCI (wdmuchiwanie pyłu węglowego do wielkiego pieca). Intensyfikacja procesu wielkopiecowego i wzrastające zużycie węgla jako paliwa zastępczego spowodowały jednak wzrost wymagań odnośnie parametrów jakościowych koksu, gdyż wzrosła jego rola jako czynnika zapewniającego odpowiednią przewodność i przepuszczalność wsadu w dolnych partiach wielkiego pieca. Z tych właśnie względów szczególnie wysokie wymagania stawiane są wskaźnikom: reakcyjności (CRI) i wytrzymałości poreakcyjnej koksu (CSR) oraz wytrzymałości mechanicznej M_{40} . Istotne są też wymagania dotyczące składu ziarnowego oraz zawartości w koksie: wilgoci, popiołu, siarki, fosforu, chloru i alkaliów.

Aktualnie, wysokiej jakości koks hutniczy powinien posiadać następujące parametry: M_{40} – min 80%, CRI – max 30%, CSR – min 60% oraz zawartości popiołu A^d – max 10,5% [1].

Wyprodukowanie koksu o takiej jakości uwarunkowane jest dostępnością węgla kokso-
wych o odpowiednich parametrach jakościowych. W procesie koksovania właściwości
węgla są bowiem czynnikiem determinującym jakość wytwarzanego koksu. Naczelną za-
sadą doboru receptury mieszanki jest, aby właściwości składników wzajemnie się uzupeł-
niały, dając w efekcie koks o wymaganej jakości. Ważnym warunkiem zapewnienia wyma-
ganej jakości koksu jest też stabilna jakość surowca węglowego.

W dalszej części przedstawiona zostanie charakterystyka stosowanych w ZK Zdzieszowice krajowych i zagranicznych węgla kokso-
wych, obejmująca takie parametry jak: zawartość: popiołu A^d , części lotnych V^{daf} , siarki całkowitej S_t^d , chloru Cl, fosforu P
i alkaliów, jak też wskaźniki kokсотwórcze: dylatacji b, spiekalności RI i wolnego wy-
dymania SI. Podano też wskaźniki CRI i CSR dla koksu wyprodukowanego z tych węgla
w instalacji doświadczalnej Karbotest [2].

1.1. Charakterystyka krajowych węgla typu 34

Krajowe węgle typu 34 to przede wszystkim węgle z kopalń Kompani Węglowej
oraz z dwóch kopalń JSW (Krupiński i Budryk). Główni dostawcy tego węgla z KW SA
to kopalnie: Anna, Szczygłowice i Knurów. Pozostali dostawcy to kopalnie: Rydułtowy,
Marcel, Polska Wirek, Halemba, Bielszowice i Pokój. Węgle te różnią się między sobą
parametrami jakościowymi, które dodatkowo podlegają zmianom w czasie.

W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę najczęściej stosowanych w ZK Zdzieszowice
węgla typu 34.

TABELA 2. Charakterystyka krajowych węgla typu 34

TABLE 2. Characteristics of domestic semi-soft coals

Węgiel z kopalni	A^d [%]	V^{daf} [%]	S_t^d [%]	Dylatacja b [%]	RI	SI	Cl [%]	P [%]	Alkalia [%]	CRI	CSR
Anna	5,8	32,37	0,460	46	81	8,1	0,163	0,035	0,183	43	42
Szczygłowice	6,3	30,06	0,540	86	78	7,7	0,129	0,052	0,249	34	55
Knurów	6,0	30,70	0,630	68	78	8,0	0,145	0,050	0,234	37	53
Krupiński	7,1	35,08	0,700	31	75	7,2	0,153	0,058	0,327	37	45
Budryk	5,6	31,74	0,830	41	83	8,0	0,165	0,042	0,167	46	40

Źródło: [3]

Najlepszymi węglami gazowo-kokso-
wymi są węgle z kopalń Szczygłowice i Knu-
rów. Pozostałe w zasadzie nie powinny być stosowane do produkcji koksu wielkopie-
cowego wysokiej jakości, jednak niedostateczna podaż węgla z dwóch wymienionych
wcześniej kopalń zmusza koksownię do stosowania węgla również z pozostałych ko-
palń [3].

1.2. Ogólna charakterystyka krajowych węgli typu 35

Krajowe węgle typu 35 pochodzą z kopalń JSW, tj.: Jas-Mos, Zofiówka, Borynia i Pniówek. Są to węgle ortokoksowe, począwszy od najwyższej zmetamorfizowanego węgla z kopalni Jas-Mos poprzez węgle typu 35.2A z kopalń Zofiówka i Borynia, aż po węgiel typu 35.1 z kopalni Pniówek. W tabeli 3 przedstawiono charakterystykę jakościową tych węgli.

TABELA 3. Charakterystyka węgli typu 35 z kopalń JSW

TABLE 3. Characteristics of hard coals from the JSW coal mines

Węgiel z kopalni	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	S _t ^d [%]	Dylatacja b [%]	RI	SI	Cl [%]	P [%]	Alkalia [%]	CRI	CSR
Jas-Mos	6,1	21,93	0,476	52	79	8,0	0,124	0,008	0,205	41	55
Zofiówka	6,1	23,49	0,590	105	82	8,5	0,142	0,030	0,272	24	70
Borynia	6,2	24,94	0,555	115	80	8,0	0,138	0,057	0,237	26	68
Pniówek	5,7	27,51	0,678	161	82	8,5	0,166	0,035	0,255	24	67

Źródło: [2]

Z danych zawartych w tabeli 3 wynika poniższa charakterystyka krajowych węgli typu 35:

- Węgiel z kopalni Jas-Mos to węgiel ortokosowy wysokouwęglony, o niskim udziale części lotnych (V^{daf} około 22%) i zróżnicowanych właściwościach koksotwórczych. Charakteryzuje się dobrą spiekalnością (RI – 79), wysokim wskaźnikiem SI – 8,0, posiada natomiast niską wartość dylatacji (b – 52%). Węgiel cechuje korzystnie najniższą, w stosunku do pozostałych analizowanych węgli, zawartość siarki (S_t^d – 0,476%), chloru (Cl – 0,124%), a przede wszystkim fosforu (P^a – 0,008%). Średnia zawartość popiołu w tym węglu kształtuje się na poziomie A^d – 6,1%.
- Węgłe z kopalń: Zofiówka, Borynia, Pniówek to węgle ortokoksowe średnio uwęglone, w których zawartość części lotnych V^{daf} wynosi od 23,49 do 27,51%. Charakteryzują się dobrymi właściwościami koksotwórczymi. Posiadają bardzo dobrą spiekalność RI (80–82), wysoki wskaźnik SI (8,0–8,5) oraz wysokie wartości dylatacji b (105–161%). Cechą ujemną tych węgli jest wysoka zawartość fosforu P^a (0,030–0,057%). Zawartość popiołu A^d w tych węglach mieści się w przedziale od 5,7 do 6,2%, siarki S_t^d od 0,555 do 0,678%, natomiast chloru Cl od 0,138 do 0,166% [3].

1.3. Ogólna charakterystyka węgli czeskich

Węgłe czeskie stosowane są w niewielkich ilościach i tylko z wybranych kopalń. Najbardziej pożądanymi z nich są węgle z kopalń: Paskov, Darkov i CSM, spełniające kryteria węgla typu 35. W tabeli 4 przedstawiono charakterystykę jakościową tych węgli.

TABELA 4. Charakterystyka czeskich węgli koksowych

TABLE 4. Characteristics of Czech coking coals

Węgiel z kopalni	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	S _t ^d [%]	Dylatacja b [%]	RI	SI	Cl [%]	P [%]	Alkalia [%]	CRI	CSR
Darkov	5,4	24,93	0,500	91	79	7,0	0,098	0,007	0,171	47	50
CSM	6,3	24,26	0,630	86	81	8,0	0,118	0,006	0,292	33	63
Paskov	6,5	18,87	0,650	39	75	8,0	0,121	0,044	0,278	26	70

Źródło: [3]

Należy wspomnieć, iż przed laty stosowano też w Polsce czeskie węgle typu 34 pochodzące z kopalń CSA i 9 Kveten.

- Węgle z kopalń Darkov i CSM to węgle ortokoksowe średnio uwęglone, w których zawartość części lotnych V^{daf} wynosi od 23,49 do 28,51%. Charakteryzują się dobrymi właściwościami koksotwórczymi. Posiadają bardzo dobrą spiekalność RI od 75 do 82, wysoki wskaźnik SI (7,0–8,5) oraz dobre wskaźniki dylatacji b (105–161%). Atutem tych węgli jest też niska zawartość fosforu P^a (0,004–0,008%). Cechują się średnią zawartością popiołu, siarki i chloru. Węgle te są porównywalne z węglami typu 35 z kopalń JSW.
- Węgiel z kopalni Paskov to węgiel ortokoksowy wysokouwęglony, o niskich częściach lotnych i bardzo dobrych właściwościach koksotwórczych. Bardzo dobre wskaźniki CRI/CSR czynią go pożądanym składnikiem mieszanek do produkcji koksu wysokiej jakości.

1.4. Ogólna charakterystyka zamorskich oraz rosyjskich węgli koksowych

W drugim półroczu 2007 roku sprowadzono węgiel z trzech kopalń amerykańskich (Roadforks, Blue Creek, Shoel Creek) oraz jednej kolumbijskiej (Cundinamarca). W roku 2008 ilość dostawców amerykańskich wzrosła, pojawił się także węgiel australijski (North Goneylla) oraz niewielkie ilości węgla rosyjskich. Charakterystykę jakościową tych węgli zawiera tabela 5.

- Węgiel z kopalni Roadforks to węgiel ortokoksowy wysokouwęglony, o niskim udziale części lotnych V^{daf} (21,21%) i dobrych właściwościach koksotwórczych. Charakteryzuje się dobrą spiekalnością (RI – 76), wysokim wskaźnikiem wolnego wydymania (SI – 8,5) oraz wysoką dylatacją (b – 84%). Cechuje go najniższa (w porównaniu z pozostałymi analizowanymi węglami) zawartość fosforu (P^a – 0,009%). Średnia zawartość popiołu w tym węglu kształtuje się na poziomie A^d – 5,7%, siarki S_t^d – 0,686% oraz chloru Cl – 0,127%.
- Węgiel z kopalni ECI to węgiel ortokoksowy o średnim stopniu uwęglenia i zawartości części lotnych V^{daf} – 25,85%. Charakteryzuje się słabszymi właściwościami koksotwórczymi. Posiada niższą spiekalność (RI – 65) i wskaźnik wolnego wydymania SI – 7,5 a także niską wartość dylatacji b – 24 %. Cechą ujemną tego węgla jest bardzo

TABELA 5. Charakterystyka węgla zamorskich i rosyjskich sprowadzonych do ZK Zdzieszowice w latach 2007–2009

TABLE 5. Characteristics of coals from overseas and Russia supplied to the Zdzieszowice Coking Plant (2007–2009)

Węgiel z kopalni	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	S _t ^d [%]	Dylatacja b [%]	RI	SI	Cl [%]	P [%]	Alkalia [%]	CRI	CSR
Baltimore	7,2	26,58	1,28	209	81	8,5	0,186	0,021	0,304	36,4	46,3
Blue Creek	8,0	26,48	0,83	212	85	8,5	0,111	0,032	0,346	27,2	64,2
Blue Creek "P"	9,8	27,4	0,77	200	84	8,0	0,114	0,034	0,449	29,5	59,8
Colombia	9,3	27,92	0,87	64	79	8,0	0,136	0,026	0,210	27,1	56,9
Cundinamarca	7,6	26,02	0,90	75	79	8,1	0,156	0,033	0,188	28,0	63,6
ECI	10,9	25,82	0,74	24	65	7,0	0,11	0,021	0,566	47,9	38,6
Integrity Blend 35.1	7,2	26,39	0,98	41	78	8,0	0,148	0,012	0,308	35,8	47,8
Integrity Blend 34.2	8,4	24,41	0,90	24	79	8,0	0,146	0,012	0,368	44,7	36,1
Keystone	5,3	18,48	0,88	56	82	8,2	0,156	0,018	0,272	27,5	65,8
Noble 24	10,2	26,27	0,84	32	71	8,0	0,132	0,018	0,637	36,4	45,0
North Goonyella	8,0	27,10	0,66	135	82	8,0	0,111	0,027	0,205	18,5	76,1
Roadforks	5,7	21,21	0,69	84	76	8,5	0,127	0,009	0,238	41,3	51,1
Shoal Creek	8,2	28,47	0,79	191	82	8,3	0,108	0,031	0,336	28,1	60,9
Berezowska	8,2	20,49	0,39	-6	53	7,0	0,091	0,006	0,260	40,5	56,3
Karaganda	10,6	24,11	0,85	93	82	8,5	0,121	0,029	0,308	30,3	62,6
Rosja K-Grade	7,9	22,69	0,66	41	75	7,5	0,102	0,004	0,295	36,3	63,1
Rosja KS+OS	8,0	19,61	0,34	-	52	7,0	0,091	0,051	0,208	29,1	68,0

wysoka zawartość popiołu ($A^d - 11,0\%$) oraz alkaliów ($0,566\%$). Średnia zawartość chloru wynosi $Cl - 0,110\%$, fosforu $P^a - 0,020\%$, siarki $S_t^d - 0,724\%$.

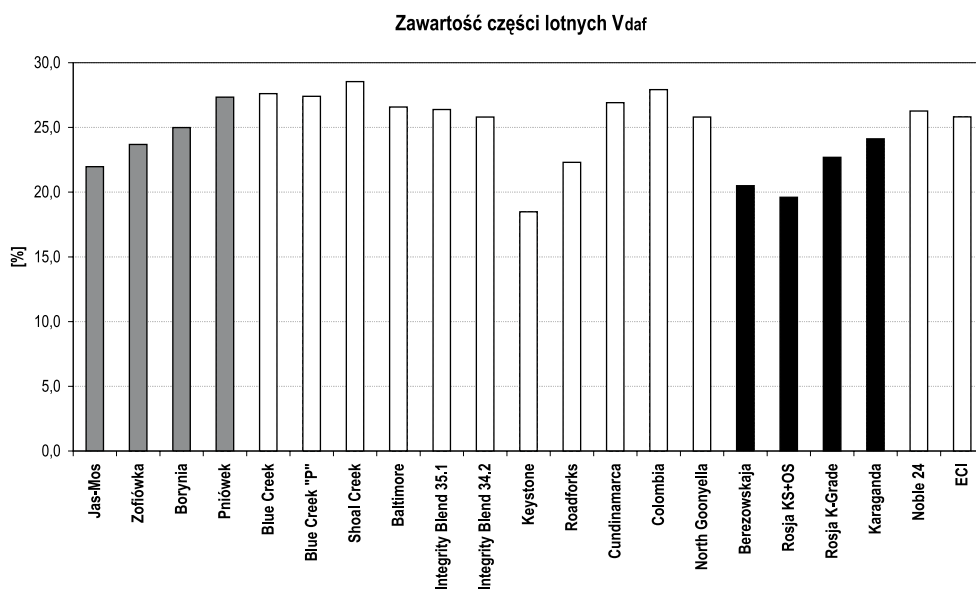
- Węgiel z kopalni Noble 24 to węgiel ortokoksowy o średnim stopniu uwęglenia i zawartości części lotnych $V^{daf} - 26,27\%$. Posiada dobrą spiekalność $RI - 72$, wskaźnik $SI - 7,5$ oraz niską dylatację $b - 39\%$. Cechą ujemną tego węgla jest bardzo wysoka zawartość popiołu ($A^d - 10,0\%$), alkaliów ($0,646\%$) oraz siarki ($S_t^d - 0,841\%$). Średnia zawartość chloru w tym węglu wynosi $Cl - 0,132\%$, a fosforu $P^a - 0,016\%$.
- Węgiel z kopalni Integrity Blend to węgiel ortokoksowy o średnim stopniu uwęglenia i zawartości części lotnych $V^{daf} - 26,40\%$. Posiada dobrą spiekalność ($RI - 78$), wysoki wskaźnik $SI - 8,0$ oraz niską wartość dylatacji $b - 43\%$. Jego cechą ujemną jest bardzo wysoka zawartość siarki $S_t^d - 0,983\%$. Średnia zawartość chloru Cl w tym węglu to $0,147\%$, fosforu $P^a - 0,012\%$, alkaliów $- 0,387\%$, a popiołu $A^d - 7,2\%$.

- Węgiel z kopalni Blue Creek P to węgiel ortokoksowy o średnim stopniu uwęglenia i zawartości części lotnych $V^{daf} - 27,40\%$. Posiada dobre właściwości koksotwórcze, tj. dobrą spiekalność $RI - 84$, wysoki wskaźnik wolnego wydymania ($SI - 8,5$) oraz wysoką wartość dylatacji $b - 202\%$. Cechą ujemną tego węgla jest wysoka zawartość popiołu ($A^d - 9,8\%$) oraz siarki ($S_t^d - 0,765\%$). Średnia zawartość chloru w tym węglu wynosi $Cl - 0,114\%$, fosforu $P^a - 0,035\%$, a alkaliów $- 0,435\%$.
- Węgiel z kopalni Blue Creek 4 to węgiel ortokoksowy o średnim stopniu uwęglenia i zawartości części lotnych $V^{daf} - 28,02\%$. Posiada dobre właściwości koksotwórcze, tj. bardzo dobrą spiekalność ($RI - 81$), wysoki wskaźnik $SI - 8,5$ oraz wysoką wartość dylatacji $b - 206\%$. Wysoka zawartość popiołu ($A^d - 8,0\%$) oraz siarki ($S_t^d - 0,765\%$) są ujemną cechą tego węgla. Średnia zawartość chloru Cl w tym węglu wynosi $0,118\%$, fosforu $P^a - 0,033\%$, a alkaliów $- 0,325\%$.
- Węgiel z kopalni Shoal Creek to węgiel ortokoksowy średniouwęglony o zbliżonych do Blue Creek 4 właściwościach i zawartości części lotnych $V^{daf} - 28,24\%$. Posiada dobre właściwości koksotwórcze, tj. bardzo dobrą spiekalność ($RI - 84$), wysoki wskaźnik wolnego wydymania ($SI - 8,0$) oraz wysoką wartość dylatacji ($b - 201\%$). Cechą ujemną tego węgla jest wysoka zawartość popiołu ($A^d - 8,4\%$) i siarki ($S_t^d - 0,707\%$). Średnia zawartość chloru w tym węglu wynosi $Cl - 0,114\%$, fosforu $P^a - 0,034\%$, a alkaliów $- 0,318\%$.
- Węgiel z kopalni Cundinamarca to średniouwęglony węgiel ortokoksowy o zawartości części lotnych $V^{daf} - 27,22\%$, dobrych właściwościach koksotwórczych, tj. dobrej spiekalności ($RI - 77$), wysokim wskaźniku $SI - 8,0$ oraz wysokiej wartości dylatacji ($b - 74\%$). Wadą tego węgla jest wysoka zawartość siarki ($S_t^d - 0,860\%$) i popiołu ($A^d - 8,2\%$). Średnia zawartość chloru Cl wynosi $0,152\%$, fosforu $P^a - 0,032\%$, a alkaliów $- 0,172\%$.
- Węgiel z kopalni Colombia to węgiel ortokoksowy o średnim stopniu uwęglenia, zawartości części lotnych $V^{daf} - 27,92\%$ i dobrych właściwościach koksotwórczych. Posiada bardzo dobrą spiekalność ($RI - 80$), wysoki wskaźnik $SI - 8,0$ oraz nieco gorszą dylatację ($b - 65\%$). Istotną jego wadą jest wysoka zawartość popiołu ($A^d - 9,3\%$) i siarki ($S_t^d - 0,874\%$). Średnia zawartość chloru Cl wynosi $0,136\%$, fosforu $P^a - 0,026\%$, a alkaliów $- 0,235\%$.
- Węgiel z kopalni North Goonyella to węgiel ortokoksowy średniouwęglony o zawartości części lotnych $V^{daf} - 24,51\%$. Charakteryzuje się dobrymi właściwościami koksotwórczymi, tj. dobrą spiekalnością ($RI - 77$), wysokim wskaźnikiem $SI (8,5)$ oraz wysoką dylatacją ($b - 103\%$), przy stosunkowo niskiej zawartości siarki ($S_t^d - 0,578\%$). Średnia zawartość chloru Cl wynosi $0,119\%$, fosforu $P^a - 0,033\%$, alkaliów $- 0,135\%$, a popiołu $A^d - 7,2\%$.

Powyższą ocenę węgla zamorskich potwierdzają badania wykonane w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze [4].

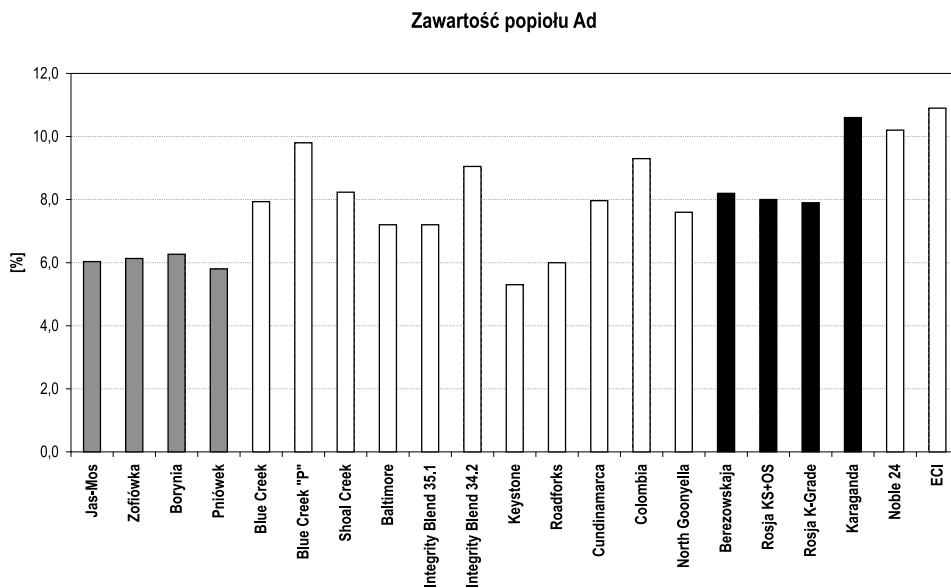
1.5. Porównanie właściwości krajowych i importowanych węgla koksowych

Syntetyczne porównanie podstawowych parametrów jakościowych krajowych i importowanych węgla ortokoksowych przedstawiono na rysunkach 2–5.



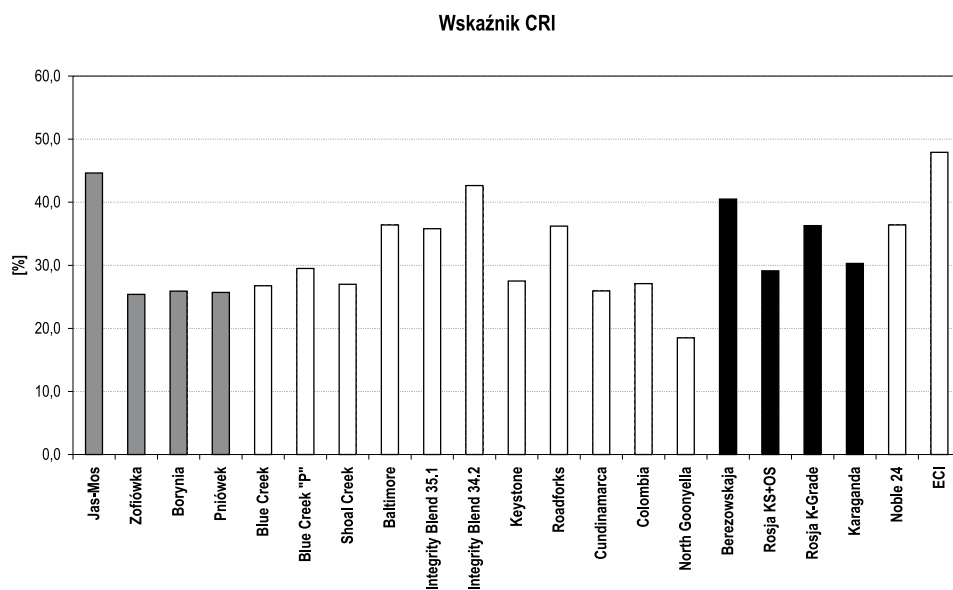
Rys. 2. Porównanie zawartości części lotnych V^{daf} w węglach importowanych oraz węglach krajowych typu 35 z Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA

Fig. 2. Comparison of the volatile matter content V^{daf} for imported coking coals and coking coals from the JSW coal mines



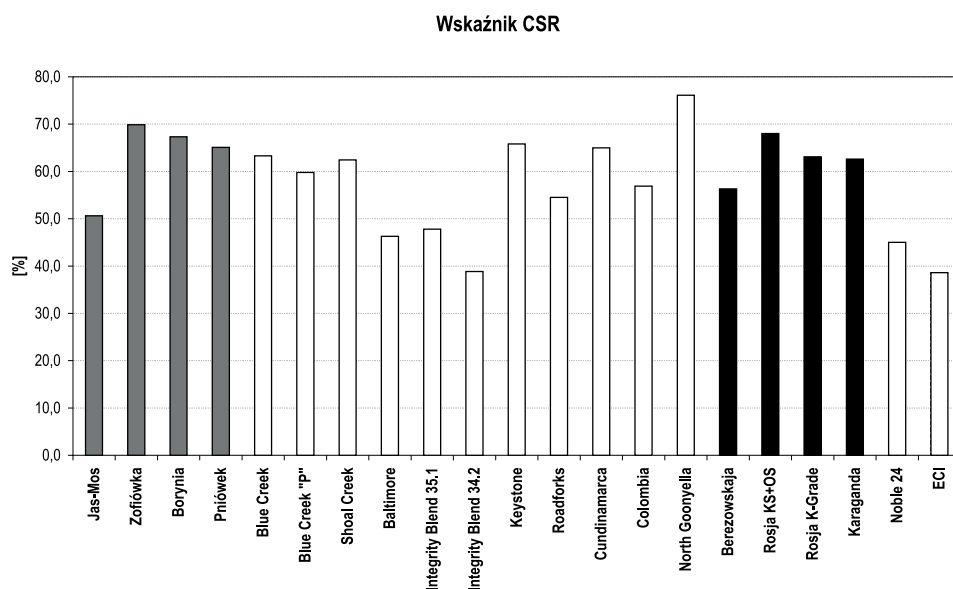
Rys. 3. Porównanie zawartości popiołu A^d w węglach importowanych oraz węglach krajowych typu 35 z Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA

Fig. 3. Comparison of the ash content A^d for imported coking coals and coking coals from the JSW coal mines



Rys. 4. Porównanie wskaźnika CRI dla węgla importowanych oraz węgla krajowych typu 35 z Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA

Fig. 4. Comparison of the CRI index for imported coking coals and coking coals from the JSW coal mines



Rys. 5. Porównanie wskaźnika CSR dla węgla importowanych oraz węgla krajowych typu 35 z Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA

Fig. 5. Comparison of the CSR index for imported coking coals and coking coals from the JSW coal mines

2. Przemysłowa ocena krajowych i importowanych węgla koksowych

Duża ilość dostawców węgla, nieregularność dostaw, jak też zmieniające się w czasie właściwości węgla z poszczególnych kopalń przy braku wiarygodnych metod prognozowania jakości koksu opartych na wynikach rutynowych, laboratoryjnych badaniach węgla i mieszanek wsadowych sprawiły, że w ZK Zdzeszowice wdrożono trzyetapową metodykę oceny przydatności węgla do koksowania, opartą na analizie jakości koksu:

- produkowanego z pojedynczych ocenianych węgla w doświadczalnej instalacji Karbotest,
- produkowanego z pojedynczych węgla w warunkach przemysłowych (próby komorowe),
- produkowanego w warunkach przemysłowych z mieszanek wsadowych zawierających oceniany węgiel koksowy.

Próby komorowe koksowania wykonuje się zarówno w warunkach technologii ubijanego jak i zasypowego systemu napełniania komór. Taka metodyka – w połączeniu z rutynowymi ocenami laboratoryjnymi węgla i planowanych mieszanek wsadowych – umożliwiła zaprojektowanie receptury mieszanki wsadowej gwarantującej wymaganą jakość produkowanego koksu.

TABELA 6. Wyniki oceny pojedynczych polskich i czeskich węgla koksowych w instalacji Karbotest

TABLE 6. Results of evaluation of single Polish and Czech coking coals in the Karbotest device

Kopalnia	Typ węgla	Parametry jakościowe węgla					Parametry koksu – Karbotest			
		W _f ^r [%]	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	SI	< 3 mm [%]	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	CRI	CSR
Szczygłowice	34	6,6	6,1	30,59	7,5	64,4	10,9	0,67	34,0	55,1
Knurów	34	7,3	6,3	30,78	8,0	78,4	9,7	0,55	31,0	56,7
Anna	34	7,0	5,0	32,58	9,0	81,6	8,3	0,81	48,2	37,2
Bielszowice	34	6,3	4,6	30,73	7,5	75,2	8,0	0,46	56,8	34,0
Budryk	34	4,8	6,3	32,91	8,0	76,8	8,6	0,49	42,7	42,2
Krupiński	34	4,0	6,9	32,44	7,5	71,6	11,4	1,13	32,7	51,8
Rydułtowy	34	3,6	4,1	32,47	8,0	60,8	7,5	0,56	40,5	47,9
Pniówek	35	10,3	5,6	26,62	8,0	72,8	9,1	0,51	25,5	64,7
Zofiówka	35	10,6	6,1	22,40	8,5	87,6	9,1	0,42	29,5	66,6
Borynia	35	10,3	5,2	23,69	8,0	84,2	8,5	0,66	25,9	68,5
Jas-Mos	35	11,3	6,4	21,72	8,0	68,6	8,1	0,39	47,8	48,4
CSM	35	12,0	7,6	22,64	7,5	70,4	10,6	0,78	33,6	65,9
Paskov	35	7,6	5,0	16,87	8,0	95,2	7,2	0,70	23,3	77,3
Darkov	35	11,0	4,8	25,15	7,0	89,6	6,8	0,55	48,4	54,2

2.1. Wyniki przemysłowej oceny krajowych i czeskich węgla koksowych

W tabelach 6 i 7 przedstawiono wyniki przemysłowej oceny wybranych krajowych węgla koksowych, przeprowadzonej w ZK Zdzeszowice w roku 2009. Włączenie do grupy węgla krajowych węgla czeskich wynika z ich genetycznego podobieństwa, skutkującego podobieństwem właściwości koksotwórczych tych węgla.

TABELA 7. Wyniki przemysłowej oceny pojedynczych węgla krajowych i czeskich – próby komorowe w bateriach systemu zasypowego i ubijanego

TABLE 7. Results of evaluation of single domestic and Czech coals on an industrial scale – chamber tests in batteries both of top charging and stamp charging type

Kopalnia	Typ węgla	Parametry węgla			Koks – system zasypowy				Koks – system ubijany			
		V _{daf} [%]	A ^d [%]	S _t ^d [%]	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR
Szczygłowice	34	30,08	6,3	0,54	64,0	6,5	48,1	42,0	60,8	6,1	48,0	46,6
Knurów	34	30,71	6,0	0,62	63,7	7,8	49,8	42,0	59,9	6,2	32,0	64,2
Anna	34	32,37	5,8	0,46	56,1	6,2	56,3	32,0	54,1	5,0	44,9	42,0
Bielszowice	34	30,06	4,5	0,48	66,7	6,6	58,0	35,7	–	–	–	–
Budryk	34	31,74	5,6	0,83	53,2	6,3	38,8	47,7	41,8	6,7	46,0	34,6
Rydułtowy	34	32,51	5,9	0,52	–	–	–	–	52,9	5,3	43,4	48,7
Pniówek	35	26,76	6,1	0,76	77,2	5,0	28,1	61,0	71,0	4,9	25,6	65,1
Zofiówka	35	22,91	6,1	0,72	82,6	5,3	23,6	63,6	–	–	–	–
Borynia	35	24,09	5,6	0,52	81,0	5,3	24,0	63,8	–	–	–	–
Jasmos	35	20,93	6,0	0,49	79,4	4,8	45,7	41,8	–	–	–	–
CSM	35	24,26	6,4	0,65	77,1	5,5	32,4	56,7	75,1	4,6	30,2	65,8
Darkov	35	24,84	5,5	0,50	82,9	5,5	36,0	57,8	–	–	–	–

2.2. Wyniki przemysłowej oceny mieszanek węglowych skomponowanych z węgla krajowych i czeskich

Receptura koksowniczych mieszanek węglowych determinowana jest wymaganą jakością koksu, dostępnością węgla, technologią napełniania komór, warunkami czasowo-temperaturowymi procesu koksowania, sposobem chłodzenia koksu oraz stanem technicznym baterii koksowniczych.

W warunkach ZK „Zdzeszowice” standardowe mieszanki dla systemu zasypowego zawierają 80–90% węgla typu 35 i 10–20% węgla typu 34, a dla systemu ubijanego 70%

TABELA 8. Wyniki oceny przemysłowej mieszanek węglowych skomponowanych z węgla krajowych i czeskich (próby w doświadczalnej instalacji Karbotest oraz próby komorowe koksovania)

TABLE 8. Results of industrial – scale evaluation of coal blends produced from domestic and Czech coals (tests in the Karbotest experimental device and chamber coking tests)

Ubi- jany	Skład mieszanek wsadowej [%]								Parametry mieszanek				Karbotest				Próby komorowe			
	Knu- rów	Pnió- wek	Borynia	CSM	Jas- -Mos	Darkov	Paskov	W _t [%]	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	SI	<3 mm [%]	CRI	CSR	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR		
1	50	-	20	-	30	-	-	7,3	5,7	24,3	8,0	87,4	38,4	51,3	61,4	6,0	35,4	53,5		
2	35	40	-	-	10	-	15	9,0	6,3	26,0	8,0	85,2	30,7	60,7	75,5	5,6	26,5	65,0		
3	35	20	-	25	-	20	-	10,3	6,2	25,3	8,0	87,8	31,6	58,1	69,2	5,5	32,2	60,3		
Zasy- powy głowice	Pnió- wek	Borynia	Zo- fiówka	Jas- -Mos	Darkov	Paskov	W _t [%]	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	SI	<3 mm [%]	CRI	CSR	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR			
1	15	25	30	20	10	-	10,3	6,1	25,2	8,5	83,0	29,6	64,0	77,8	6,4	33,3	56,8			
2	-	20	20	50	10	-	10,0	5,7	24,0	8,5	82,2	29,5	64,8	81,6	5,8	30,4	62,9			
3	-	20	20	35	10	-	10,6	6,1	22,8	8,5	82,2	29,2	63,4	80,4	5,9	30,0	60,2			

węgli typu 35 i 30% węgla typu 34. W tabeli 8 podano przykładowe receptury mieszanek dla systemu zasypowego i ubijanego, ich właściwości oraz jakość uzyskanego z nich koksu.

2.3. Wyniki przemysłowej oceny wybranych węgla zamorskich

W tabeli 9 przedstawiono wyniki przeprowadzonej w ZK Zdzeszowice przemysłowej oceny wybranych węgla zamorskich o największej podaży.

TABELA 9. Wyniki przemysłowej oceny wybranych pojedynczych węgla zamorskich – próby komorowe w bateriach systemu zasypowego i ubijanego

TABLE 9. Results of industrial-scale evaluation of single overseas coals – chamber tests both in top charging and stamp charging batteries

Kopalnia	Typ węgla	Parametry węgla				Koks – system zasypowy				Koks – system ubijany			
		W _t ^f [%]	V _{daf} [%]	A ^d [%]	S _t ^d [%]	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR
Blue Creek	hard (35)	9,8	26,48	8,0	0,83	83,9	5,6	24,5	65,6	–	–	–	–
Cundi-namarca	hard (35)	8,9	26,02	7,5	0,90	75,4	7,1	22,2	65,2	–	–	–	–
Shoel Creek	hard (35)	9,5	28,41	8,2	0,79	80,9	5,8	25,5	60,3	–	–	–	–
Colombia	hard (35)	8,3	27,92	9,3	0,87	–	–	–	–	70,9	6,1	29,4	65,2
Baltimore	hard (35)	8,9	26,58	7,2	1,28	83,4	6,0	25,5	62,9	–	–	–	–
Integrity Blend	semi-soft (34)	9,3	27,19	9,7	1,02	75,5	6,1	32,4	54,4	70,0	5,8	31,5	60,2
ECI	semi-soft (34)	11,3	25,85	10,9	0,72	–	–	–	–	76,6	4,0	46,0	40,0

2.4. Wyniki przemysłowej oceny mieszanek węglowych skomponowanych z węgla krajowych, czeskich i zamorskich

W tabeli 10 przedstawiono wyniki przemysłowej oceny mieszanek węglowych skomponowanych z krajowych, czeskich i zamorskich węgla koksowych. Ocenie poddano koks wyprodukowany w instalacji doświadczalnej Karbotest oraz podczas prób komorowych przeprowadzonych zarówno w bateriach systemu zasypowego jak i ubijanego [3].

TABELA 10. Wyniki oceny przemysłowej mieszanek węglowych skomponowanych z węgla krajowych, czeskich i zamorskich (próby w instalacji Karbotest oraz próby komorowe koksowania)

TABLE 10. Results of industrial-scale evaluation of coal blends produced from domestic and imported coals (tests in the Karbotest experimental device and chamber cooking tests)

System	Skład mieszanki wsadowej [%]											Próby komorowe				Karbotest				
	Knu- rów	Szczyg- łowice	Pnió- wek	Bo- rynia	Zo- fówka	Blue Creek	Shoal Creek	Balti- more	Integrity Blend	Virgi- nia	Jas- -Mos	Paskov	Clear Creek	Alpha Gulf	M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR	CRI	CSR
U	35	-	-	15	-	-	-	15	-	20	15	-	-	-	70,3	5,7	33,0	59,0	38,6	53,9
U	35	-	-	20	-	35	-	-	-	-	10	-	-	-	70,5	5,8	31,2	62,0	31,1	59,6
U	20	20	10	15	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74,4	4,7	31,0	66,3	29,4	67,2
U	20	20	10	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	70,2	5,2	29,7	66,4	28,5	68,4
U	20	20	10	15	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	74,0	4,5	34,7	61,1	32,2	63,7
U	20	20	10	15	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	70,3	5,2	32,1	63,8	31,7	65,8
U	20	20	10	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	5	73,9	5,4	27,4	68,6	26,5	70,2
U	20	20	10	15	10	-	-	-	-	-	10	-	-	-	72,6	4,9	33,9	58,7	31,8	60,8
Z	15	-	10	20	-	35	-	-	-	-	10	-	-	-	81,0	6,0	34,2	57,0	33,4	58,7
Z	-	-	-	-	60	30	-	-	10	-	-	-	-	-	84,0	5,8	25,0	64,0	27,0	66,5
Z	-	-	15	30	25	15	-	-	-	-	15	-	-	-	83,5	5,6	26,9	67,8	25,5	69,8
Z	-	-	20	30	20	-	-	-	-	-	15	-	-	-	83,2	5,6	29,8	65,0	26,9	69,4
Z	-	10	35	15	10	-	-	-	-	-	10	20	-	-	81,0	5,8	31,5	60,5	31,8	63,2
Z	-	-	30	45	15	-	-	-	-	-	10	-	-	-	82,0	5,6	31,0	59,0	30,1	63,5
Z	-	-	15	25	25	20	-	-	-	-	15	-	-	-	83,0	5,4	27,0	64,0	27,5	68,9

3. Klasyfikacja krajowych i importowanych węgla koksowych

Opierając się na wynikach standardowych analiz laboratoryjnych, badaniach jakości koksu uzyskanego w doświadczalnej instalacji Karbotest, a przede wszystkim na ocenach

Tabela 11. Klasyfikacja dostarczanych do ZK Zdzeszowice węgla krajowych i importowanych węgla pod względem ich przydatności do produkcji koksu hutniczego najwyższej jakości [3]

Table 11. Technological classification of the coking coals for high quality coke production delivered to the Zdzeszowice Coking Plant [3]

Kopalnia	A ^d [%]	V ^{daf} [%]	CRI	CSR	M ₄₀	Ocena
Węgle krajowe						
Zofiówka	6,1	23,49	24,2	70,2	82,6	bardzo dobry
Borynia	6,2	24,94	25,6	68,3	81,0	bardzo dobry
Pniówek	5,7	27,52	24,3	67,2	77,2	dobry
Jas-Mos	6,1	21,93	40,7	54,4	74,0	dostateczny
Węgle importowane						
North Goonyella	7,2	24,51	18,5	76,1	–	bardzo dobry
Blue Creek	8,0	28,02	26,4	63,4	83,9	bardzo dobry
Cundinamarca	8,2	27,22	25,7	65,3	75,4	bardzo dobry
Paskov	6,4	18,96	25,7	69,8	–	bardzo dobry
Keystone	5,3	18,5	27,5	66,0	–	bardzo dobry
Shoel Creek	8,4	28,24	27,0	62,4	80,9	dobry
Blue Creek "P"	9,8	27,4	29,5	59,8	–	dobry
CSM	6,3	24,51	33,3	62,5	78,5	dobry
Red Fox	6,2	23,5	33,0	58,0	83,4	dobry
Colombia	9,3	27,92	27,1	56,9	70,9	dobry
Karaganda	10,6	24,11	30,3	62,6	84,7	dobry
Rosja KS+OS	8,0	19,61	29,1	68,0	–	dobry
Rosja K-Grade	7,9	22,69	36,3	63,1	71,2	dostateczny
Integrity Blend 35.1	7,2	26,39	35,8	47,8	75,5	dostateczny
Darkov	5,3	24,94	47,3	51,1	73,9	dostateczny
Berezowskaja	8,2	20,49	40,5	56,3	–	dostateczny
Roadforks	5,7	21,21	41,3	51,1	–	dostateczny
Noble 24	10,2	26,27	36,4	45	69,8	zły
ECI	10,9	25,82	47,9	38,6	76,6	zły

jakości koksu produkowanego zarówno z indywidualnych węgli jak również z mieszanek węgli krajowych i importowanych w ramach prób komorowych na bateriach obu systemów (zasypowego i ubijanego) autorzy dokonali klasyfikacji tych węgli pod względem ich przydatności do produkcji koksu hutniczego wysokiej jakości. Kształt tej klasyfikacji przedstawiono w tabeli 11 [3].

Podsumowanie

Przeprowadzone standardowe oceny laboratoryjne właściwości krajowych i zagranicznych węgli koksowych, jak również oceny jakości koksu uzyskanego z pojedynczych węgli oraz mieszanek skomponowanych z ich udziałem w instalacji doświadczalnej Karbotest, a także w bateriach systemu zasypowego i ubijanego (próby komorowe) pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Węgłe o bardzo dobrych właściwościach koksotwórczych pochodzące z USA (kopalnie: Blue Creek, BCP, Shoal Creek) oraz Kolumbii (Cundinamarca, Columbia) są węglami o jakości porównywalnej z krajowymi węglami z kopalń JSW (Zofiówka, Pniówek i Borynia). Węgłe te mogą być z powodzeniem wykorzystywane do sporządzania mieszanek wsadowych przeznaczonych do produkcji koksu wielkopiecowego wysokiej jakości o parametrach: $CRI < 30$ i $CSR > 60$. W ZK Zdzeszowice z powodu deficytu krajowych węgli o najlepszych właściwościach koksotwórczych (węgli z kopalń JSW) węgle zamorskie są stosowane jako ich zamiennik. Jednak ze względu na znacznie wyższą zawartość w nich popiołu, otrzymywany koks charakteryzuje się nieco gorszą jakością (zawartość balastu) niż koks otrzymywany z węgli krajowych (JSW).
2. Węgiel z kopalni Roadforks (USA) jest porównywalny z węglem z kopalni Jas-Mos – oba charakteryzują się słabymi wartościami wskaźników CRI i CSR oraz relatywnie dobrymi pozostałymi właściwościami. Pomimo to węgiel z kopalni Jas-Mos stosowany jest w mieszankach wsadowych do produkcji koksu wielkopiecowego, gdyż gwarantuje wysoką wytrzymałość mechaniczną ($M_{40} > 80\%$). Jest to jednak przyczyną częstych, dużych wahań wskaźników CRI i CSR produkowanego koksu. Należy zaznaczyć, że choć ze względu na potencjalne problemy eksploatacyjne związane między innymi z możliwością wystąpienia nadmiernego ciśnienia rozprężania, węgiel Roadforks nie został zbadany pod kątem wpływu na wytrzymałość mechaniczną koksu, to był on z powodzeniem stosowany w mieszankach węglowych jako zamiennik węgla z kopalni Jas-Mos.
3. Węgłe amerykańskie (ECI, Noble 24, Integrity Blend) są porównywalne z naszymi węglami gazowo-koksowymi z kopalń JSW (Krupiński, Budryk) pomimo różnego stopnia ich uwęglenia. Wartości wskaźników CRI i CSR wyznaczone dla kokсів otrzymanych z w/w węgli charakteryzują się wysoką reakcyjnością (CRI od 35,5 do 50,1) i niską wytrzymałością poreakcyjną (CSR od 32,1 do 46,4). Z tego powodu węgle te nie mogą być stosowane w mieszankach wsadowych przeznaczonych do produkcji koksu wielkopiecowego o wymaganych obecnie przez odbiorców wartościach wskaźników: $CRI < 30$ i $CSR > 60$. Węgłe te w ZK Zdzeszowice są stosowane jedynie jako zamienniki węgla typu 34. Na podkreślenie zasługuje też wysoka zawartość popiołu w tych węglach w porównaniu z węglami krajowymi.

4. Węgiel australijski (North Goonyella) jest węglem ortokoksowym średniouwęglonym o zdecydowanie najlepszych właściwościach koksotwórczych. Może być z powodzeniem stosowany do sporządzania mieszanek wsadowych przeznaczonych do produkcji koksu wielkopiecowego o wymaganych parametrach $CRI < 30$ i $CSR > 60$. Wartości wskaźników CRI i CSR wyznaczone dla koksu otrzymanego z węgla charakteryzują się najniższą spośród wszystkich badanych węgli reakcyjnością ($CRI - 18,4$) i najwyższą wytrzymałością poreakcyjną ($CSR - 76,3$). Z obawy przed nadmiernym ciśnieniem rozprężania nie wykonano jednak komorowych prób koksowania tego węgla.
5. Węgłe czeskie to węgle porównywalne z krajowymi węglami typu 35 (Paskov, CSM) i typu 34 (Darkov). Są stosowane z powodzeniem w polskim koksownictwie jako zamienniki węgla krajowych. Węgiel z kopalni Paskov jest wykorzystywany jako dodatek schudzający mieszanki węglowe, przy czym dodatkowo posiada dobre parametry CRI/CSR. Może być stosowany do sporządzania mieszanek wsadowych przeznaczonych do produkcji koksu wielkopiecowego o wymaganych parametrach $CRI < 30$ i $CSR > 60$. Pozostałe węgle posiadają nieco mniejsze znaczenie w produkcji koksu hutniczego.
6. Odnośnie węgla rosyjskich, to z uwagi na niewielkie jak dotąd ilości otrzymanych węgla oraz małe jeszcze doświadczenia z ich stosowaniem w mieszankach wsadowych, trudno jest wydać jednoznaczną opinię o ich przydatności do produkcji koksu hutniczego.
7. Dla pełnej oceny przydatności węgla zamorskich do produkcji koksu hutniczego i porównania ich z jakością węgla z JSW należałoby uwzględnić też takie parametry, jak ciśnienie rozprężania, skład petrograficzny, refleksyjność wityryny oraz wielkość rozproszenia wyników jego pomiaru. Niestety, laboratoria polskich koksowni nie wykonują tych badań. Jedynie w wyjątkowych wypadkach koksownie posiłkują się wynikami tych badań wykonywanych w akredytowanych laboratoriach zewnętrznych.
8. Z dotychczasowych kilkuletnich doświadczeń ZK Zdieszowice, które stosują węgle importowane jako zamienniki lub uzupełnienie węgla z kopalń JSW wynika, że nie ma technicznych i technologicznych przeszkód w stosowaniu wybranych węgla importowanych do produkcji koksu hutniczego najwyższej jakości. Słabą stroną był jednak ograniczony dostęp do węgla o najlepszych właściwościach koksotwórczych, nierytmiczność dostaw, a przy dużym imporcie zamorskim także możliwości logistyczne polskich portów.
9. W artykule ograniczono się do jedynie do oceny technologicznych aspektów stosowania węgla importowanych w polskich koksowniach, nie zajmując się bardzo istotną kwestią kosztów takiego przedsięwzięcia. Te ostatnie będą decydowały o opłacalności działań zmierzających do dywersyfikacji dostaw węgla dla polskich koksowni.

Część pracy, której wyniki wykorzystano w artykule wykonana została w ramach Pracy Statutowej AGH nr 11.11.210.172.

Literatura

- [1] Ozga-Blaschke U., 2003 – Metoda powiązania parametrów jakościowych węgla koksowego z jego wartością użytkową. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- [2] Langer A., 2009 – Porównanie właściwości koksotwórczych węgla zamorskich i węgla JSW S.A. oraz ich przydatność do produkcji koksu w Zakładach Koksowniczych Zdzeszowice Sp.z o.o. Praca wykonana w ramach Studiów Podyplomowych AGH – Kraków (niepublik.).
- [3] Materiały wewnętrzne Zakładów Koksowniczych w Zdzeszowicach.
- [4] Langer A., Zarzycka M., Hielpern S., Latocha W., Świeca G., 2009 – Symulacja procesów koksowania w warunkach laboratoryjnych, wielkogabarytowych i prób komorowych węgla koksowych z krajów zamorskich. Karbo nr 3, s. 142–150.

