



PROPOZYCJA FORMUŁY SPRZEDAŻNEJ WĘGLA KOKSOWEGO

Urszula Ozga-Blaschke¹⁾

¹⁾ Dr inż.; Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Zakład Ekonomiki i Badań Rynku Paliwowo-Energetycznego; ul. Wybickiego 7, 30-950 Kraków; tel.: (0 prefix 12) 632-27-48; fax: (0 prefix 12) 633-50-47; e-mail: ulobla@min-pan.krakow.pl

RECENZENT: Doc. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki, prof. AGH

Streszczenie

W referacie przedstawiono propozycję sposobu oceny wartości użytkowej węgla koksowego poprzez określenie zależności wiążącej cenę węgla z jego parametrami jakościowymi. Na podstawie przeprowadzonych analiz dokonano wyboru najistotniejszych parametrów jakościowych służących do oceny wartości użytkowej węgla oraz określono wielkości współczynników korygujących cenę węgla przy odchyleniach wartości wybranych parametrów jakościowych od poziomu przyjętego dla węgla wzorcowego. Zaproponowano dwa warianty algorytmu wartościującego węgiel koksowy w oparciu o wybrane parametry jakościowe, różniące się sposobem wartościowania węgla ze względu na ich właściwości koksotwórcze. Przyjmując, że cena węgla jest miarą jego wartości użytkowej, algorytmy te mogą służyć do kształtowania struktury formuł sprzedażnych wyznaczających cenę węgla koksowego.

1. WPROWADZENIE

Dobór składników mieszanki wsadowej ma podstawowe znaczenie dla pracy koksowni. Efektywność ekonomiczna procesu koksowania jest determinowana uzyskiem i jakością głównego produktu jakim jest koks, a wielkości te są w głównej mierze zależne od jakości surowca węglowego.

Poszczególne węgle koksowe, będące komponentami mieszanek wsadowych, są zróżnicowane jakościowo zarówno pod względem stopnia metamorfizmu i właściwości koksotwórczych jak i składu chemicznego, posiadają więc dla odbiorcy – producenta koksu różną wartość użytkową. Mając na uwadze fakt, że prawie 90% krajowej produkcji koksu (z uwzględnieniem drobnych klas ziarnowych) stanowi koks metalurgiczny, o wartości użytkowej węgla koksowych decydować będzie jakość uzyskiwanego z nich koksu przeznaczonego do wielkich pieców.

Pełna charakterystyka właściwości węgla koksowych określona jest wieloma różnymi wskaźnikami, więc ze względów praktycznych musi nastąpić ich ograniczenie do kilku najważniejszych parametrów jakościowych, które będą wyznaczać wartość użytkową węgla. Podstawowym kryterium wyboru, pozwalającym wydzielić grupę najbardziej charakterystycznych wskaźników, jest wpływ jakości węgla na ekonomikę procesu koksowania oraz uzysk i jakość koksu metalurgicznego. Przy coraz ostrzejszych wymaganiach stawianych w odniesieniu do parametrów jakościowych koksu wielkopiecowego, szczególnie istotne są te właściwości węgla, które gwarantują uzyskanie koksu o pożądanej jakości, zwłaszcza pod

względem wytrzymałości mechanicznej zarówno w warunkach niskich jak i wysokich temperatur oraz niskiej reakcyjności.

Miernikiem wartości użytkowej węgla jest jego cena, można więc przyjąć, że wybrane wskaźniki jakościowe, wartościujące węgiel pod względem jego przydatności do procesu koksowania, będą również parametrami cenotwórczymi, budującymi strukturę formuły wyznaczającej cenę węgla koksowych.

2. WYBÓR CENOTWÓRCZYCH PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH

Użytkowym kryterium oceny jakości koksu są jego parametry wytrzymałościowe, dlatego też charakterystyczne dla węgla wskaźniki analizuje się w powiązaniu z tymi właściwościami koksu. Do parametrów określających jakość węgla, na podstawie których można prognozować o jakości uzyskanego koksu, należą:

- wskaźniki charakteryzujące stopień uwęglenia (R_o , V^{daf}),
- właściwości koksotwórcze (spiekalność, plastyczność, dylatacja),
- zawartość składników balastowych i szkodliwych (wilgoć, popiół, siarka, fosfor, alkalia).

O wartości użytkowej węgla decyduje przede wszystkim zawartość i jakość substancji organicznej. Stopień uwęglenia i skład petrograficzny węgla mają decydujący wpływ na jakość i uzysk produktów koksowania. Właściwości koksotwórcze węgla wykazują charakterystyczne zmiany w zależności od stopnia

metamorfizmu – optymalne właściwości wykazuje grupa węgla zajmujących środkową pozycję w szeregu uwęglania.

Jako jeden z najlepszych parametrów oceny stopnia metamorfizmu węgla uważany jest wskaźnik zdolności odbicia światła wityrytu R_o . Wartość R_o wityrytu wzrasta proporcjonalnie ze stopniem uwęglania i jest parametrem najlepiej określającym jednorodność węgla. Wskaźnik ten pozwala określić udział poszczególnych typów węgla w mieszanke. Istnieje wysoka korelacja między wskaźnikiem refleksyjności a innymi parametrami określającymi stopień uwęglania, jak zawartość pierwiastka C czy też zawartość części lotnych.

Drugim istotnym parametrem mającym ścisły związek ze stopniem metamorfizmu substancji węglowej jest zawartość części lotnych przeliczona na stan suchy i bezpopiołowy V^{daf} , będąca podstawowym wskaźnikiem stosowanym we wszystkich systemach klasyfikacyjnych węgla (również w krajowej normie PN-82/G-97002). Zawartość części lotnych charakteryzuje odporność termiczną substancji organicznej węgla. Im niższe są części lotne węgla tym wyższy jest udział pierwiastka C, a mniejszy tlenu i wodoru. Ważną cechą wykorzystywaną przy określaniu roli węgla w mieszanke, jest istnienie związków pomiędzy zawartością części lotnych a szeregiem typowych właściwości kosotwórczych węgla (takich jak spiekalność, czy dylatacja).

Najlepsze właściwości kokso-twórcze posiadają węgle o średnim stopniu uwęglania (V^{daf} od około 20 do 26%). W miarę wzrostu stopnia metamorfizmu następuje zmniejszenie spiekalności i plastyczności (węgle schudzające), natomiast wzrost zawartości części lotnych powyżej 30% wiąże się zazwyczaj z coraz gorszymi właściwościami kokso-twórczymi węgla. Zawartość części lotnych wpływa zarówno na uzysk koksu i lotnych produktów koksovania jak i na cechy jakościowe produktów, ma więc istotny wpływ na efektywność ekonomiczną procesu koksovania. Parametr ten używany jest do prognozowania uzysku koksu w warunkach przemysłowych, jest również stosowany w wielu modelach prognozowania wytrzymałości mechanicznej koksu, np. w alternatywnym do diagramu MOF [5] modelu prognozowania wytrzymałości koksu ASTM, opartym o V^{daf} oraz indeks FSI . Znaczące korelacje występują również pomiędzy reaktywnością CRI i wytrzymałością po-reakcyjną koksu CSR, a wskaźnikami charakteryzującymi stopień uwęglania [1, 2, 3, 4].

Kolejna grupa wskaźników, na podstawie których można prognozować jakość koksu to parametry jakościowe charakteryzujące stan plastyczny węgla: plastyczność według Gieselera, dylatacja, ciśnienie

rozprężania, wolne wydymanie, liczba Rogi. Wskaźniki te, obok takich parametrów jak stopień metamorfizmu czy zawartość części lotnych, wpływają na najważniejsze dla jakości koksu okresy plastyczności oraz formowania struktury koksu. Różnorodność tych cech oraz wzajemne ich oddziaływanie utrudniają wytypowanie jednego uniwersalnego parametru jakościowego, którego kontrola pozwalałaby określać jakość produkowanego koksu. Zazwyczaj właściwości te traktuje się kompleksowo, wyrażając np. poprzez typ węgla [4, 6].

W dotychczasowych krajowych systemach cen węgla kokso-wych miernikiem właściwości kokso-twórczych danego węgla był typ węgla i przypisany mu współczynnik strukturalny. Ten sposób oceny nie różnicuje jednak węgla należących według krajowej klasyfikacji do tego samego typu. Na przykład, węgle należące do typu 34.2 bez względu na zawartość części lotnych (od 31 do 37%) oraz spiekalność (FSI od 6 do 8) mają przypisany taki sam współczynnik strukturalny, świadczący o ich przydatności technologicznej.

Parametr zawartości części lotnych, będący podstawowym wskaźnikiem w klasyfikacji węgla na typy i bardzo istotny w ocenie wartości użytkowej węgla, nie zawsze jest wystarczająco miarodajny – z węgla o jednakowych zawartościach części lotnych można otrzymać koks znacznie różniący się wytrzymałością mechaniczną. Wynika stąd potrzeba scharakteryzowania węgla pod względem jego zdolności kokso-twórczych, a wytypowany wskaźnik powinien umożliwić różnicowanie wartości węgla mających podobną zawartość części lotnych, ale różną przydatność do produkcji koksu. Parametrem tym może być indeks wolnego wydymania FSI , będący jakościową metodą oznaczania zdolności spiekania. Spiekalność, będąca podstawową cechą określającą przydatność węgla do produkcji koksu, uważana jest za wypadkową charakterystycznych właściwości węgla, uwarunkowaną zdolnością przechodzenia masy węglowej w stan plastyczny pod wpływem ogrzewania bez dostępu powietrza [7, 8].

Indeks FSI jest parametrem dającym wstępne, bezpośrednie informacje technologiczne o węglu. Stosowany jest w Międzynarodowym systemie kodyfikacji dla węgla o średnim i wysokim stopniu uwęglania. Zasadniczą jego zaletą jest prostota i szybkość oznaczania, dzięki której w krótkim czasie można uzyskać wstępną informację o zdolnościach kokso-twórczych węgla.

W świetle powyższych informacji autorka uważa, że wprowadzenie do oceny wartości użytkowej węgla wskaźnika określającego zawartość części lotnych V^{daf} w powiązaniu ze zdolnością spiekania, wyrażoną inde-

ksem wolnego wydymania FSI , pozwoli lepiej zróżnicować węgle pod względem ich zdolności koksotwórczych niż przypisany im typ węgla.

Do bardzo ważnych parametrów węgla, które w istotny sposób oddziałują na przebieg procesu koksowania oraz na jakość produkowanego koksu należą wskaźniki określające ilościowy udział składników balastowych i szkodliwych w węglu, tj.: wilgoci, popiołu, siarki, alkaliów oraz fosforu i chloru.

Zawartość wilgoci w węglu wsadowym nie ma bezpośredniego wpływu na jakość koksu, natomiast decyduje o przebiegu i ekonomice procesu koksowania. Wzrost zawartości wilgoci w mieszance węglowej powoduje konieczność wydłużenia czasu koksowania, a co za tym idzie obniżenie produktywności komór, zwiększa zużycia ciepła potrzebnego do procesu koksowania oraz ilość powstających wód ściekowych, które muszą zostać poddane procesowi oczyszczania.

Zawartość popiołu w węglu wpływa zarówno na ekonomikę procesu koksowania jak i na jakość koksu, a co za tym idzie i na ekonomikę procesu wielkopiecowego. Popiół zawarty w węglu pogarsza jego parametry koksotwórcze, a ponadto wpływa bezpośrednio na zawartość popiołu w koksie. Zwiększona zawartość popiołu w koksie powoduje wzrost reakcyjności koksu, pogorszenie jego właściwości mechanicznych, a także obniżenie wartości opałowej, co bezpośrednio wpływa na ekonomikę procesu wielkopiecowego. Kwaśny charakter popiołu koksu powoduje ponadto zwiększenie zużycia topników w wielkim piecu, co wiąże się z powiększonym zużyciem ciepła. Wzrost zawartości popiołu w koksie wywiera negatywny wpływ na zdolność produkcyjną wielkiego pieca, obniża jego wydajność.

Wraz z popiołem koksu wprowadzane są do wielkiego pieca szkodliwe składniki, do których należą: siarka, alkalia, fosfor oraz chlor. Ponieważ koks jest znaczącym źródłem alkaliów dostarczanych do wielkiego pieca (około 35÷45% całości alkaliów) wymagania odbiorców ograniczają ich poziom do 0,2÷0,3% w przeliczeniu na sumę tlenków disodu i dipotasu. Ostatnio pojawiają się również żądania ograniczenia chloru do poziomu poniżej 0,06%. Zawartość tych składników w koksie jest pochodną ich obecności w substancji mineralnej węgla wsadowego, tak więc głębsze jego wzbogacanie, ograniczające zawartość popiołu redukuje również zawartość alkaliów i chloru.

Do szczególnie szkodliwych składników węgla koksowych należy siarka oraz fosfor. Podczas koksowania większość siarki węgla pozostaje w koksie, a pozostała ilość, głównie w postaci siarkowodoru,

przechodzi do gazu koksowniczego powodując konieczność odsiarczania gazu ze względu na jego transport i dalsze użytkowanie. Zawartość siarki w koksie wpływa na pogorszenie jakości surówki żelaza i stali powodując tzw. kruchość na gorąco. Konieczność prowadzenia procesu odsiarczania w wielkim piecu powoduje wzrost zużycia topników, zwiększa zużycie koksu, a w konsekwencji zmniejsza wydajność wielkiego pieca.

Fosfor jest niepożądanym składnikiem koksu wielkopiecowego, gdyż przechodząc do metalu powoduje tzw. kruchość metalu na zimno. Zawartość fosforu w koksie zależy wyłącznie od jego zawartości w mieszance węglowej.

Omówione parametry jakościowe, określające ilość balastu w węglu, zależą od eksploatowanych pokładów, jednak w znacznym stopniu ich poziom może być kształtowany w procesie przeróbki mechanicznej – wraz z obniżeniem zawartości popiołu obniża się zawartość składników szkodliwych (siarka, fosfor, chlor, alkalia).

Wskaźniki: zawartość wilgoci całkowitej W_t^r , popiołu A^d i siarki całkowitej S_t^d są zazwyczaj stosowane do rozliczeń na linii dostawca – odbiorca węgla. Sposób i stopień oddziaływań tych składników w węglu na przebieg procesu koksowania oraz jakość i uzysk koksu wielkopiecowego decydują o wyborze tych parametrów do oceny wartości użytkowej węgla koksowego.

Na podstawie przeprowadzonych analiz zagadnienia wpływu parametrów jakościowych węgla koksowego na jakość i uzysk koksu metalurgicznego oraz na ekonomikę procesu koksowania do oceny wartości użytkowej węgla kamiennych przeznaczonych do procesu koksowania wyznaczono dwie grupy czynników:

- charakteryzujące jego właściwości koksotwórcze – stopień uwęglenia mierzony zawartością części lotnych V^{daf} oraz spiekalność, której miarą jest indeks wolnego wydymania FSI ,
- charakteryzujące zawartość wybranych składników balastowych – zawartość wilgoci całkowitej W_t^r , zawartość popiołu A^d , zawartość siarki całkowitej S_t^d .

3. USTALENIE PARAMETRÓW WĘGLA WZORCOWEGO

Najczęściej stosowanym sposobem wartościowania węgla koksowych jest metoda tzw. węgla wzorcowego o wybranych parametrach jakościowych, dla których wyznacza się współczynniki korygujące cenę węgla, przy odchyleniu danego parametru w stosunku do przyjętej wartości wzorcowej.

Charakterystyka jakościowa krajowych węgla koksowych oraz struktura ich zużycia w przemyśle koksowniczym wskazuje, że węglem wzorcowym powinien być węgiel ortokoksowy typu 35.1 o ustalonym bazowym poziomie parametrów jakościowych.

Proponuje się przyjęcie parametrów jakościowych węgla wzorcowego na poziomie ustalonym dla węgla standardowego w UE, którego cena CIF określana jest na bazie danych o imporcie węgla koksowych hard przeznaczonego na potrzeby przemysłu hutniczego krajów Wspólnoty [9, 10, 11]. Produkcja koksu w krajach Europy Zachodniej oparta jest głównie na węglach importowanych, tak więc cena węgla standardowego (Coking Coal Guide Price) publikowana w kwartalnych komunikatach Komisji EWWiS pozwala na monitorowanie relacji cen koksu do ceny węgla koksowego w krajach UE. Jest to zagadnienie istotne, zwłaszcza że Polska jest eksporterem zarówno węgla koksowego jak i koksu metalurgicznego na rynek Europy Zachodniej. Ponadto po przystąpieniu do UE Polska będzie zobligowana do wprowadzenia przepisów regulujących zasady pomocy udzielanej przez państwo dla przemysłu węglowego, a w procedurach określonych przez Komisję Europejską [10, 11] średnia cena CIF węgla standardowego jest punktem odniesienia do obliczeń wysokości rabatu wynikającego z różnicy pomiędzy ceną producenta (członka Unii), a ceną węgla tej samej jakości importowanego z krajów trzecich [9, 12, 13].

W proponowanej metodzie oceny wartości użytkowej węgla koksowych przyjęto, że **węgiel ortokoksowy typu 35.1 o parametrach jakościowych na poziomie: $W_t^r = 8\%$, $A^d = 7,5\%$, $S_t^d = 0,8\%$, $V^{daf} = 28,0\%$ będzie węglem wzorcowym (standardowym) w formule cenowej, a ustalana dla niego cena bazowa będzie punktem odniesienia do wartościowania pozostałych węgla koksowych.**

Zaproponowane powyżej wartości parametrów są przyjęte na poziomie ustalonym dla węgla standardowego UE, z przeliczeniem części lotnych na stan suchy i bezpopiołowy (zawartość części lotnych dla węgla standardowego UE $V^d = 26\%$, co przy zawartości popiołu $A^d = 7,5\%$ daje w przybliżeniu wartość $V^{daf} = 28\%$).

Średnie, rzeczywiste wartości parametrów jakościowych krajowych węgla typu 35.1 nie odbiegają, jak wykazały analizy porównawcze [14], znacznie od wartości przyjętych dla węgla wzorcowego. W dostawach do koksowni w 2001 roku kształtowały się one na poziomie: $V^{daf} = 27,6\%$, $A^d = 6,45\%$, $S_t^d = 0,72\%$, $W_t^r = 9,20\%$ [1, 3, 4].

Najbardziej obiektywne i łatwe do wartościowania są właściwości węgla podlegające prawu addytywno-

ści w mieszankach, a więc parametry określające zawartości: części lotnych, wilgoci całkowitej, popiołu i siarki. Stąd też dla tych właściwości oblicza się współczynniki wartościujące dany wskaźnik w porównaniu z wzorcowym.

4. WSPÓLCZYNNIKI KORYGUJĄCE CENĘ WĘGLA PRZY ZMIANIE WIELKOŚCI PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH.

Miarą oddziaływania składników balastowych w węglu na jego ocenę technologiczną są wielkości współczynników korygujących cenę węgla przy odchyleniu danego wskaźnika o 1% w stosunku do wartości wzorcowej. W procesie przetwarzania koksowniczej mieszanki węglowej uzyskuje się dwa podstawowe produkty: koks i tzw. surowy gaz koksowniczy (poddawany następnie procesom chłodzenia i oczyszczania). Analiza wartości sprzedaży produktów koksowania wykazuje, że koks (którego uzysk mieści się w granicach 73÷77%) w wartości sprzedaży produktów koksowni ogółem stanowi około 90% [15, 16]. Tak kształtująca się struktura kosztów sprzedaży powoduje, że wszelkie skutki finansowe wynikające ze zmiany jakości mieszanki wsadowej w procesie koksowania powinny być odnoszone do produktu finalnego jakim jest koks wielkopiecowy.

Zawartość popiołu i siarki w koksie, determinowana ilością tych składników w mieszance węglowej, ma znaczny wpływ na ekonomikę procesu wielkopiecowego.

Według danych opartych na doświadczeniach przemysłowych, wzrost zawartości popiołu w koksie o 1% powoduje wzrost zużycia koksu wielkopiecowego o 10 kg/Mg surowki. Korzystając z zależności podanej przez Flinta [8], w której

$$A^d = \frac{A_w^d}{0,7883}$$

gdzie:

A^d – zawartość popiołu w koksie,

A_w^d – zawartość popiołu w węglu,

można przyjąć, że wzrost zawartości popiołu w węglu o 1% powoduje wzrost zawartości popiołu w koksie o 1,27%, a co za tym idzie 1% wzrost popiołu w mieszance wsadowej będzie skutkował (w procesie wielkopiecowym) wzrostem zużycia koksu o 12,7 kg. Powoduje to wzrost kosztów produkcji wynoszący $0,0127 \text{ Mg} \cdot C_k$, gdzie C_k jest ceną koksu w zł/Mg.

Przy założeniu, że stosunek ceny koksu do ceny węgla wsadowego C_k/C_w w krajowym koksownictwie kształtuje się na poziomie około 1,7 [16], koszt ten odniesiony do ceny jednej tony węgla wsadowego

będzie miał wartość $0,0216 C_w$, zł. Wynika stąd, że 1% wzrostu zawartości popiołu w węglu wsadowym przeznaczonym do produkcji koksu wielkopieczowego powoduje skutki finansowe (wynikające z obniżenia jakości koksu) w wysokości odpowiadającej około 2% ceny tego węgla.

Podobną analizę można przeprowadzić w odniesieniu do wpływu siarki w koksie na ekonomikę procesu wielkopieczowego. Dane literaturowe, jak też wyliczenia przy zastosowaniu zależności ze wzoru Flinta [8] pozwalają założyć, że wzrost zawartości siarki w węglu o 0,1% powoduje wzrost siarki w koksie o 0,063%. Na podstawie praktyki przemysłowej oszacowano, że wzrost zawartości siarki w koksie wielkopieczowym o 0,1% powoduje zwiększenie zużycia koksu nawet o 1%, czyli wzrost zawartości siarki o 0,1% w węglu wsadowym do produkcji koksu spowoduje w procesie wielkopieczowym zwiększenie zużycia koksu o 0,63% (co przy średnim krajowym zużyciu koksu wynoszącym około 0,550 Mg/Mg surowki daje wielkość 3,46 kg). Wzrost kosztów produkcji wynoszący $0,00346 \cdot C_k$ w zł, odniesiony do ceny węgla (dla wskaźnika $C_k/C_w = 1,7$) będzie miał wartość $0,00588 \cdot C_w$, zł. Wynika stąd, że 0,1% wzrostu zawartości siarki całkowitej w węglu wsadowym przeznaczonym do produkcji koksu wielkopieczowego powoduje skutki finansowe (wynikające z obniżenia jakości koksu) w wysokości odpowiadającej około 0,59% ceny tego węgla.

Zawartość wilgoci w węglu ma wpływ głównie na koszty ruchowe i zdolności przepustowe koksowni. Woda zawarta w węglu musi ulec odparowaniu do czego zużywa się około 5000 kJ na każdy kilogram wody [17]. Koszt gazu koksowniczego potrzebnego na odparowanie 1% wilgoci z 1 tony węgla wsadowego (przy wartości opałowej gazu równej 16 500 kJ/kg i cenie gazu 180 zł/1000 m³) wynosi 0,55 zł. Oczyszczenie powstałych z tej ilości wody ścieków (przy cenie 12 zł/m³) daje dalsze 0,12 zł, co razem tworzy koszt 0,67 zł. Koszt ten, w odniesieniu do ceny węgla koksowego przyjętej w wysokości 190 zł/Mg, stanowi około 0,3% ceny węgla wsadowego.

Aby obliczyć współczynnik korygujący cenę węgla ze względu na zawartość wilgoci można porównać dwie tony węgla, różniące się zawartością wody o 1%. Jedna tona węgla o $W_t^r = 8\%$ zawiera 920 kg substancji bezwodnej, natomiast o $W_t^r = 9\%$ zawiera 910 kg substancji bezwodnej i o 10 kg więcej wody, która generuje koszty równe 0,3% ceny węgla C_w . Cena węgla o zwiększonej zawartości wilgoci powinna wynosić: $C_w \cdot 910/920 - 0,003 \cdot C_w = 0,986 \cdot C_w$. Wynika

stąd, że 1% wzrostu zawartości wilgoci w węglu wsadowym obniża jego cenę o około 1,4 %.

Zasady kalkulacji ceny wskaźnikowej (Coking Coal Guide Price) węgla standardowego w UE oparte są na następujących zależnościach:

- zmiana zawartości popiołu A^d o 1% w stosunku do wartości bazowej 7,5% powoduje korektę ceny o 2%,
- zmiana zawartości siarki S_t^d o 0,1% w stosunku do wartości bazowej 0,8% powoduje korektę ceny o 0,5%,
- zmiana zawartości wilgoci W_t^r o 1% w stosunku do wartości bazowej 8% powoduje korektę ceny o 1%,
- zmiana zawartości części lotnych V^d o 1% w stosunku do wartości bazowej 26% powoduje korektę ceny o 0,3%.

W najnowszym projekcie Komisji UE [11] dotyczącym zasad nadzoru nad importem węgla kamiennego do krajów Wspólnoty, przeliczniki kalkulacji ceny CIF standardowego węgla koksowego pozostały w tej samej wysokości.

W przeprowadzonych próbach oszacowania skutków finansowych wynikających ze zmiany jakości węgla koksowych stosowanych do produkcji koksu uzyskano współczynniki oceny wartości węgla (w odniesieniu do jego ceny) na bardzo zbliżonym poziomie do przeliczników stosowanych w kalkulacji ceny CIF węgla standardowego UE.

W zaprezentowanej propozycji oceny wartości użytkowej węgla koksowych przyjęto wartości współczynników korekty ceny węgla ze względu na zawartość popiołu, siarki i wilgoci zgodne z unijnymi zasadami kalkulacji ceny węgla standardowego.

Przyjęty sposób określenia wpływu wybranych parametrów jakościowych węgla na jego cenę, jest zbliżony do rozliczeń stosowanych w umowach handlowych na rynkach międzynarodowych.

Wprowadzenie do oceny wartości użytkowej węgla koksowego parametru zawartości części lotnych wymaga ustalenia współczynnika korygującego cenę węgla w zależności od wartości tego wskaźnika, w porównaniu z poziomem określonym dla węgla wzorcowego.

Zawartość części lotnych we wsadzie węglowym determinuje uzysk głównych produktów procesu koksowania – przy wzroście zawartości części lotnych w mieszance wsadowej koksownia ponosi straty wynikające z mniejszego uzysku koksu. Zgodnie ze wzorami teoretycznymi, dla węgla różniących się zawartością części lotnych o 1% (przy niezmiennych pozostałych parametrach), można wyznaczyć uzyski

koksu U_k^d , i dalej uzyski koksu w stanie roboczym U_k^r korzystając z wzoru:

$$U_k^r = \frac{U_k^d(100 - W_t^r)}{100}$$

Uzyskane wyniki pozwalają oszacować, że wzrost zawartości części lotnych o 1% powoduje średnio zmniejszenie uzysku koksu o 0,7%, w efekcie powstają straty koksowni w wysokości $0,007 \text{ Mg} \cdot C_k$, gdzie C_k jest ceną koksu w zł/Mg. Przy założeniu, że stosunek ceny koksu do ceny węgla wsadowego C_k/C_w w krajowym koksownictwie kształtuje się na poziomie około 1,7, koszt ten odniesiony do ceny jednej tony węgla wsadowego będzie miał wartość $0,0119 \cdot C_w$, zł. **Wynika stąd, że 1% wzrostu zawartości części lotnych w węglu wsadowym przeznaczonym do produkcji koksu wielkopiecowego powoduje skutki finansowe w wysokości odpowiadającej około 1,19% ceny tego węgla.**

W kalkulacji stosowanej do wyznaczania ceny węgla standardowego w UE, odchylenie wskaźnika V^d o 1% w stosunku do poziomu bazowego $V^d = 26\%$ powoduje korektę ceny o 0,3%. Mając jednak na uwadze wyniki przeprowadzonych dla krajowych koksowni analiz [14, 18], w zaproponowanej metodzie oceny wartości użytkowej węgla koksowych przyjęto wielkość współczynnika korekty ceny w wysokości 1% na każdy procent różnicy V^{daf} w stosunku do wartości bazowej węgla wzorcowego – $V^{\text{daf}} = 28\%$.

W strukturze produkcji krajowego koksownictwa dominuje koks metalurgiczny, do wytworzenia którego wymagany jest odpowiedni stopień uwęglenia mieszanki wsadowej. W sytuacji niedoboru krajowych węgla ortokoksowych typu 35 (zwłaszcza typu 35.2), będących podstawowym surowcem do produkcji koksu wielkopiecowego, system cen powinien premiować węgle wyższej zmetamorfizowane

5. ZAGADNIENIE WARTOŚCIOWANIA WĘGLI O RÓŻNYCH WŁAŚCIWOŚCIACH KOKSOTWÓRCZYCH

Jednym z elementów modyfikacji dotychczasowego systemu oceny węgla koksowych jest sposób podejścia do zagadnienia wartościowania węgla ze względu na ich właściwości koksotwórcze. Mając na uwadze klasyfikację węgla stosowaną w handlu na rynkach międzynarodowych, można krajowe węgle koksowe podzielić na typy hard i semi-soft i ustalić odpowiednie relacje cen między nimi. Relacje te, uzgadniane między producentami i odbiorcami węgla w kraju, powinny uwzględniać wartość użytkową danego typu węgla z punktu widzenia produkcji koksu wielkopiecowego. W ustaleniach tych pomocne mogą być również relacje

występujące w handlu na rynkach międzynarodowych tym bardziej, że Polska jest eksporterem węgla koksowego na rynki zagraniczne.

Analizując jakość krajowych węgla koksowych z punktu widzenia klasyfikacji handlowej stosowanej na rynkach międzynarodowych, wprowadzono następujący podział:

- **Klasa hard** – węgle typu 35 (35.2, 35.1) charakteryzujące się średnią zawartością części lotnych $V^{\text{daf}} = 22\div 30\%$, współczynnikiem odbicia światła wityrynitru $R_o > 1$, dobrymi właściwościami koksotwórczymi wysoką plastycznością (zwłaszcza węgle typu 35.1) i spiekalnością – wskaźnik wolnego wydymania $FSI = 7\div 9$.
- **Klasa semi-soft** – węgle typu 34 (34.2, 34.1) o dużej zawartości części lotnych V^{daf} powyżej 30% i współczynniku odbicia światła wityrynitru $R_o < 1$, mające gorsze właściwości koksotwórcze. W grupie tej wyróżnikiem byłby indeks wolnego wydymania: $FSI > 6$ – typ 34.2 (dawniej grupa soft) oraz $FSI < 6$ – węgle typu 34.1 (będące typowymi węglami semi-soft).

Wartościowanie węgla ze względu na charakteryzujące go właściwości koksotwórcze zaproponowano w dwóch wariantach:

W **wariancie I** zaproponowano wartościowanie węgla w oparciu o podział węgla na klasy hard i semi-soft, oraz parametry: zawartość części lotnych V^{daf} i indeks FSI .

Ceny węgla typu hard będą różnicowane w zależności od rzeczywistej zawartości części lotnych (V^{daf} w zakresie od 22÷30%), zgodnie z przyjętym współczynnikiem korygującym cenę o 1% na każdy procent różnicy V^{daf} w stosunku do wartości wzorcowej równej 28%.

Dla grupy węgla semi-soft o zawartości części lotnych powyżej 30% wprowadzono dodatkowe współczynniki obniżające poziom cen: dla węgla o indeksie $FSI > 6$ współczynnik $k(FSI) = 0,95$ (węgle typu 34.2); dla węgla o indeksie $FSI < 6$ współczynnik $k(FSI) = 0,90$ (węgle typu 34.1). Wielkości współczynników $k(FSI)$ zostały dobrane w takiej wysokości, by ich oddziaływanie połączone ze skalą wartościowania węgla ze względu na parametr zawartości części lotnych (w odniesieniu do poziomu bazowego $V^{\text{daf}} = 28\%$), ustawiło relacje cen między węglami hard i semi-soft na poziomie podobnym do relacji występujących w handlu na rynkach międzynarodowych.

W porównaniu z ostatnią wprowadzoną w kraju formułą z 1990 roku metoda ta daje możliwość róż-

nicowania cen węgla ze względu na właściwości koksotwórcze w obrębie danego typu (ze względu na parametr V^{daf}) oraz zwiększa różnicę poziomów cen między poszczególnymi typami węgla (oddziaływanie współczynnika $k(FSI)$ oraz V^{daf}) [14, 19, 20].

W **wariancie II** założono, że indeks wolnego wydymania FSI określający zdolność spiekania węgla będzie, podobnie jak parametr zawartości części lotnych, w sposób ciągły wartościować węgle zarówno w typie hard jak i semi-soft. W oparciu o charakterystykę jakościową węgla typu 35.1 przyjęto, że dla węgla standardowego (wzorcowego) wartość indeksu FSI przyjmie wartość 8, natomiast odchylenie tego parametru od wartości wzorcowej o 0,5 punktu będzie korygować cenę o 1%.

Podobnie jak w wariantcie I, metoda ta daje możliwość różnicowania cen węgla ze względu na właściwości koksotwórcze w obrębie danego typu: dla węgla hard o V^{daf} 22÷30%, FSI 7,5÷9, dla semi-soft typu 34 o V^{daf} 30÷38%, FSI 3÷8 oraz zwiększa różnicę poziomów cen między poszczególnymi typami węgla.

Oddziaływanie wskaźników korygujących cenę węgla ze względu na parametry jakościowe: V^{daf} i FSI , pozwala na wartościowanie krajowych węgla hard i semi-soft na poziomie zbliżonym do relacji występujących na rynkach międzynarodowych.

6. PROPOZYCJA FORMUŁY SPRZEDAŻNEJ WARTOŚCIUJĄCEJ WĘGIEL KOKSOWY

Wybrane wskaźniki jakościowe wartościujące węgiel pod względem jego przydatności do procesu koksowania, będą również parametrami cenotwórczymi, budującymi strukturę formuły wyznaczającej cenę węgla koksowych. Struktura ta będzie więc funkcją:

$$f(W_t^r, A^d, S_t^d, V^{daf}, FSI)$$

Dla ustalonych uprzednio wartości współczynników korygujących cenę, cząstkowe elementy budowy formuły cenowej przyjmą postać:

- składnik korygujący cenę węgla przy odchyleniu zawartości popiołu A^d w węglu o 1% w stosunku do wartości wzorcowej przyjętej w wysokości 7,5%:

$$C_{wst} \cdot 0,02 (7,5 - A^d)$$

- składnik korygujący cenę węgla przy odchyleniu zawartości siarki S_t^d w węglu o 1% w stosunku do wartości wzorcowej przyjętej w wysokości 0,8%:

$$C_{wst} \cdot 0,05 (0,8 - S_t^d)$$

- składnik korygujący cenę węgla przy odchyleniu zawartości wilgoci całkowitej W_t^r w węglu o 1% w stosunku do wartości wzorcowej przyjętej w wysokości 8%:

$$C_{wst} \cdot 0,01 (8 - W_t^r)$$

- składnik korygujący cenę węgla przy odchyleniu zawartości części lotnych V^{daf} w węglu o 1% w stosunku do wartości wzorcowej przyjętej w wysokości 28%:

$$C_{wst} \cdot 0,01 (28 - V^{daf})$$

- składnik (w wariantcie II) korygujący cenę węgla przy odchyleniu wskaźnika FSI o 1 punkt w stosunku do wartości wzorcowej równej 8:

$$C_{wst} \cdot 0,02 (FSI - 8)$$

gdzie:

A^d, S_t^d, W_t^r – wartości parametrów jakościowych ocenianego węgla,

V^{daf}, FSI – wartości parametrów jakościowych ocenianego węgla,

C_{wst} – cena (zł/Mg) węgla standardowego (wzorcowego typu 35.1) o ustalonych parametrach jakościowych:

$$A^d = 7,5\%, S_t^d = 0,8\%, W_t^r = 8\%,$$

$$V^{daf} = 28\%, FSI = 8.$$

Miarą wartości użytkowej węgla będzie więc cena węgla standardowego pomniejszona lub powiększona (w zależności od wielkości parametrów jakościowych charakteryzujących węgiel) o wartości składników korygujących cenę.

Na podstawie rozważań przedstawionych powyżej, proponuje się dwie formuły sprzedażnej węgla koksowego F_1 i F_2 odpowiadające zaprezentowanemu wariantom.

Formuła F_1

$$C_w = C_{wst} [1 + 0,02 (7,5 - A^d) + 0,05 (0,8 - S_t^d) + 0,01 (8 - W_t^r) + 0,01 (28 - V^{daf})] k_{FSI}$$

Wzór ten po przekształceniu można zapisać w postaci:

$$C_w = C_{wst} (1,55 - 0,02 A^d - 0,05 S_t^d - 0,01 W_t^r - 0,01 V^{daf}) k_{FSI}$$

gdzie:

C_w – cena węgla, zł/Mg,

$k_{FSI} = 0,95$ – współczynnik dla węgla semi-soft (soft) o $V^{daf} > 31\%$ i $FSI > 6$,

$k_{FSI} = 0,90$ – współczynnik dla węgla semi-soft o $V^{daf} > 31\%$ i $FSI < 6$,

– pozostałe oznaczenia jak podano wcześniej.

Formuła F_2

$$C_w = C_{wst} [1 + 0,02 (7,5 - A^d) + 0,05 (0,8 - S_f^d) + 0,01 (8 - W_f^r) + 0,01 (28 - V^{daf}) + 0,02 (FSI - 8)]$$

Wzór ten po przekształceniu można zapisać w postaci:

$$C_w = C_{wst} (1,39 - 0,02 A^d - 0,05 S_f^d + >$$

– oznaczenia jak podano wcześniej.

W powyższych formułach F_1 oraz F_2 elementy znajdujące się w nawiasie opisują strukturę formuły cen węgla koksowego, utworzoną w oparciu o wybrane parametry jakościowe wytypowane do oceny wartości użytkowej węgla.

Poziom cen węgla koksowego będzie zależny od wartości jaką przyjmie węgiel standardowy – czyli od wielkości C_{wst} w formule cenowej. Cena węgla standardowego (wzorcowego) uzgadniana w negocjacjach między sprzedającym i kupującym, jest rynkowym elementem zawieranych umów. W literaturze spotyka się poglądy, że poziom cen wyznaczać mogą również: koszty pozyskania węgla u poszczególnych producentów, koszty kopalń zamykających bilans zapotrzebowania na określony rodzaj węgla lub też koszty importu węgla o ekwiwalentnej jakości.

7. PODSUMOWANIE

Wyprodukowanie koksu o parametrach jakościowych wymaganych przez odbiorców uwarunkowane jest dostępnością odpowiedniej jakości węgla koksowych. Krajowa baza koksowa charakteryzuje się niskim poziomem zasobów węgla wysokouwęglonych, niezbędnych do produkcji koksu o najwyższych wskaźnikach wytrzymałościowych. Podaż węgla typu 34 (o słabszych właściwościach koksotwórczych) przewyższa zapotrzebowanie krajowego przemysłu koksowniczego, natomiast w obrębie węgla ortokoksowych typu 35, o najlepszych właściwościach, baza surowcowa jest ograniczona.

Jednym z warunków racjonalnego wykorzystania krajowych zasobów węgla koksowego jest właściwa struktura cen tych węgla, oparta na ich wartości użytkowej. Przeprowadzona analiza krajowego rynku węgla koksowego wykazała, że w ostatnim okresie (od 2001 roku) w systemie cenowym przyjęto zasadę ustalania dwóch poziomów cen na węgle ortokoksowe typu 35 i gazowo-koksowe typu 34. Równocześnie wystąpiło zjawisko ograniczenia wpływu parametrów jakościowych poszczególnych węgla w danym typie na różnicowanie ich wartości (szczególnie w grupie węgla gazowo-koksowych, dla których praktycznie ustalono

jedną cenę). Ponadto wysokie ceny węgla 34.1 (nieadekwatne do ich jakości) spowodowały, że różnice poziomów cen węgla o bardzo dobrych i o słabych właściwościach koksotwórczych (w wysokości około 10% w porównaniu z 25% w 1999 roku) nie odpowiadają ocenie ich wartości użytkowej.

W procesie koksowania właściwości surowca węglowego przekładają się bezpośrednio na parametry jakościowe koksu. O wartości technologicznej węgla decyduje zespół jego właściwości fizycznych, chemicznych i fizykochemicznych, wybór parametrów jakościowych, służących celom użytkowym, powinien więc ograniczyć ich ilość do kilku najważniejszych. Jako główne kryterium selekcji przyjęto wpływ jakości węgla na uzysk i jakość koksu metalurgicznego o pożądanej jakości.

Wcześniejsze prace autorki [12, 13, 20, 21], a także zamieszczone w pracy [14] analizy pozwoliły na przedstawienie propozycji wprowadzenia nowej formuły cenowej węgla. Zaprezentowane wzory opisują strukturę formuły cen węgla koksowego, utworzoną w oparciu o przybliżone zależności między parametrami jakościowymi węgla i jego wartością użytkową, rozpatrywaną z punktu widzenia jakości uzyskiwanego koksu metalurgicznego.

Przedstawiono dwa warianty różniące się sposobem wartościowania węgla ze względu na właściwości koksotwórcze. Wprowadzenie do formuły cenowej parametrów jakościowych, charakteryzujących stopień uwęglenia (V^{daf}) oraz spiekalność (indeks FSI), daje możliwość wartościowania węgla w obrębie danego typu nie tylko ze względu na zawartość składników balastowych (popiołu, siarki i wilgoci) ale również ze względu na właściwości koksotwórcze. Ocena węgla oparta na tych wzorach premiuje węgle o wyższym stopniu uwęglenia i lepszych właściwościach koksotwórczych. Uzyskane relacje między cenami krajowych węgla hard i semi-soft odpowiadają relacjom spotykanym w handlu węglem koksowym na rynkach międzynarodowych.

8. Literatura

1. Herman W., 1997: *Influence of Raw Material and Coke Oven Operation on CSR and CRI – Values – General Aspects*. Cokemaking International, vol. 9, 1/1997
2. Herman W., 2002: *Reactivity and Coke Strength. Part 1: Coke Reactivity – Summary and Outlook*. Cokemaking International, no. 1
3. 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
4. Tramer A., Kosewska M., 1998: *Przygotowanie mieszanek węgla wsadowego w koksownictwie oraz prognozowanie własności koksu*. Mat. konfer. „Techniczne uwarunkowania

- optymalizacji składu mieszanek węglowych”, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 3/331
5. Pearson D. E., 1980: *The Quality of Western Canadian Coking Coal*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, www.coalpetrography.com/research/quality.htm
 6. Karcz A., 1991: *Czynniki kształtujące wartość użytkową i cenę węgla kamiennych przeznaczonych do produkcji koksu*. *Przegląd Górniczy*, nr 2
 7. Roga B., Wnękowska L., 1966: *Analiza węgla i koksu*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne
 8. Zieliński H. (red.), 1986: *Koksownictwo*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice
 9. Blaschke W., Ozga-Blaschke U., 2000: *Funkcjonowanie kompleksu górniczo-koksowniczego w świetle przystąpienia do Unii Europejskiej i cen hipotetycznego importu węgla koksowego do Polski*. *Karbo*, nr 7
 10. *Decyzja Komisji numer 3632/ECSC z dnia 28.12.1993 r. ustanawiająca przepisy Wspólnoty dotyczące pomocy rządowej dla przemysłu węglowego*. Official Journal of the European Communities, No. L. 329/12, 30.12.93. Tekst polski (tłumaczenie robocze), *Mat. XIV Konf. „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”*. Zakopane, 2000. Wyd. Instytut GSMiE PAN, s. 431–439
 11. *Council Regulation Concerning Community Surveillance of Imports of Hard Coal Originating in Third Countries*. Commission of the European Communities, Brussels, 2002, COM(2002) 482 final. (Proposal presented by the Commission)
 12. Ozga-Blaschke U., 2000b: *Ceny węgla koksowego w świetle przepisów pomocowych dla górnictwa Unii Europejskiej*. XIV Konf. z cyklu: „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”. Wyd. Instytut GSMiE PAN, Sympozja i Konferencje, nr 46
 13. Ozga-Blaschke U., 2001: *Parytet importowy węgla koksowego*. *Studia, Rozprawy, Monografie*, nr 100, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków
 14. Ozga-Blaschke U., 2003: *Metoda powiązania parametrów jakościowych węgla koksowego z jego wartością użytkową*. Rozprawa doktorska
 15. Karcz A., Kluz A., 1997: *Struktura kosztów produkcji koksu oraz cen węgla koksowych i produktów koksowania*. Materiały XI Konferencji z cyklu „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”, Zakopane, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Sympozja i Konferencje, nr 28
 16. *Program Restrukturyzacji Polskiego Przemysłu Koksowniczego*. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, styczeń 1999
 17. Karcz A., Adamczyk K., 1979: *Problemy energetyczne produkcji koksu z węgla kamiennego*. Praca zbiorowa: *Badania systemowe w gospodarowaniu paliwami i energią*, PAN, Instytut PPT, Warszawa
 18. *Opracowanie wariantowej struktury cen dostosowanej do realiów krajowego rynku węgla – etap II*. Praca wykonana pod kierunkiem A. Karcz i W. Blaschke przez Zespół Zakładu Przeróbki i Przetwarzania Kopalni CPPGSMiE – PAN, Kraków, grudzień 1993
 19. Ozga-Blaschke U., 1997b: *Koncepcja wyznaczania cen parytetu importowego koksowego węgla kamiennego*. *Przegląd Górniczy*, nr 9
 20. Ozga-Blaschke U., 1999b: *Modyfikacja systemu cen krajowego węgla koksowego*. *Przegląd Górniczy*, nr 3
 21. Mokrzycki E., Ozga U., 1996: *Struktura cenowa węgla koksowego na rynkach krajowym i światowym*. *Mat. Konf. „Poprawa jakości węgla w programie dostosowania górnictwa węglowego do warunków gospodarki rynkowej”*, Wyd. GIG, Sympozja i Konferencje, nr 12, Szczyrk – Katowice

COKING COAL PRICING FORMULAE

Paper presents a method proposed for assessing the use value of coking coal, by determination of relationships between coal price and coal quality parameters. Basing on analyses that had been made, the most important quality parameters for coking coal valuation were selected. Values of factors correcting the price of coal regarding deviations of selected quality parameters in relation to the level assumed for 'standard coal' were also determined. Two variants of algorithm for coking coal valuation were proposed basing on selected quality characteristics. These variants differ from each other by the way of coal valuation regarding the ability of coal to create the coke. Assuming that coal price is a measure of its use value, these algorithms can be used for forming the structure of coking coal pricing formulae.

Zakład Ekonomiki i Badań Rynku Paliwowo-Energetycznego Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk

poleca zainteresowanym problematyką określania jakości produktów handlowych węgla kamiennego energetycznego opracowanie wydane w serii *Studia – Rozprawy – Monografie* przez Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN

Studia – Rozprawy – Monografie nr 116, 2003:

Blaschke Z., Blaschke W.: **„Ocena celowości wzbogacania węgla na potrzeby energetyki w samodzielnych zakładach przerobczych”**