

Aleksander KARCZ*, Piotr BURMISTRZ**, Andrzej STRUGAŁA***

Oszacowanie emisji CO₂ związanej z wydobyciem, wzbogacaniem i transportem węgla – potencjalnych surowców dla procesów wytwarzania wodoru

STRESZCZENIE. Do metod wytwarzania wodoru o istotnym w warunkach polskich znaczeniu zaliczyć należy zgazowanie węgla kamiennego i brunatnego, jak również odzysk wodoru z gazu poprodukcyjnego powstającego w zakładach koksowniczych. W kontekście działań związanych z zapobieganiem zmianom klimatycznym, do podjęcia których zmuszeni będziemy w najbliższym czasie, ważnym zagadnieniem jest określenie wpływu wspomnianych technologii wytwarzania wodoru, a także rodzaju zastosowanego surowca węglowego na wielkość emisji ditlenku węgla do atmosfery. Ustalenie tego wpływu wymaga przeprowadzenia analizy pełnego cyklu drogi pozyskiwania wodoru, od procesów wydobycia surowca do jego wytwarzania (węgla) począwszy, na procesach zgazowania/odgazowania kończąc.

Tematem artykułu jest ocena emisji CO₂ związanej z początkowymi ogniwami łańcucha cyklu życia wodoru, tj. wydobyciem i przeróbką mechaniczną różnych surowców węglowych oraz ich transportem do zakładów zgazowania/koksowania węgla. Przedmiotem analizy są:

- ⇨ węgiel brunatny wydobywany metodą odkrywkową i transportowany do zakładu zgazowania taśmociągiem,
- ⇨ węgiel kamienny energetyczny wydobywany w jednej z kopalń górnośląskich transportowany do zakładu zgazowania koleją,
- ⇨ węgiel kamienny energetyczny wydobywany w jednej z kopalń górnośląskich transportowany do zakładu zgazowania taśmociągiem,
- ⇨ węgiel kamienny wydobywany w zespole kopalń węgla koksowego i transportowany do krajowych koksowni koleją.

* Prof. dr hab. inż., ** Dr inż., *** Dr hab. inż. – Wydział Energetyki i Paliw AGH, Kraków; burmistr@agh.edu.pl

Zastosowana przez autorów metoda oszacowania wskaźników emisji CO₂ związanej z pozyskiwaniem, przeróbką mechaniczną, jak też transportem zarówno dla węgla brunatnego jak i węgla kamiennych polegała na zebraniu oraz analizie danych i informacji dotyczących zużycia netto poszczególnych form energii w wymienionych operacjach. Na podstawie znajomości wskaźników emisji CO₂ związanych z wyprodukowaniem jednostkowych ilości energii możliwe było wyznaczenie wskaźników emisji CO₂ w odniesieniu do 1 Mg surowca węglowego, jak też 1 GJ energii w nim zawartej. Odpowiednie informacje i dane liczbowe uzyskano od krajowych producentów węgla.

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń wspomnianych wskaźników, dokonano porównania ich wielkości dla rozpatrywanych przypadków pozyskiwania, wzbogacania i transportu węgla oraz scharakteryzowano strukturę emisji CO₂ związanej z rozpatrywanymi operacjami.

SŁOWA KLUCZOWE: wodór, emisja CO₂, zgazowanie i koksowanie węgla, wydobywanie, przeróbka mechaniczna, transport węgla

Wprowadzenie

Wodór uznawany jest powszechnie za paliwo przyszłości, gdyż posiada niepodważalną zaletę, jaką jest brak negatywnych dla środowiska skutków związanych z jego spalaniem (Srogi 2000; Kreith 2004; Marzec 2004; Kijeński 2005; Czysta energia... 2008). Spośród szeregu rozpatrywanych obecnie metod pozyskiwania wodoru duże praktyczne znaczenie przypisuje się metodom opartym na zgazowaniu węgla kamiennego i brunatnego (Surygała 2006; Moore, Pearce 2006; Marzec 2007; Zarębska i in. 2007; Higman i in. 2008). Ich istotną cechą jest dostępność technologii sprawdzonych w skali przemysłowej (Ściażko 2007; Dreszer i in. 2007; Rezaian, Cheremisnoff 2005). Metody te budzą w naszym kraju spore zainteresowanie z uwagi na charakter posiadanej bazy surowców. Z jednej strony rozwój krajowej energetyki winien opierać się nadal na krajowych surowcach, tj. węglu kamiennym i brunatnym (Kasztelewicz 2004 i 2008; Kasztelewicz i in. 2007; Gawlik, Grudziński 2007; Kicki, Sobczyk 2007), z drugiej zaś stosowanie klasycznych technologii wykorzystywania tych paliw w kontekście zapobiegania zmianom klimatycznym jest trudne do zaakceptowania (Gawlik i in. 2007; Białas, Paszcza 2007). W tej sytuacji zainteresowanie technologiami zgazowania węgla jest zatem jak najbardziej uzasadnione. Ponadto zgazowanie węgla stwarza możliwość wprowadzenia nowych technologii energetycznych opartych na blokach gazowo-parowych, a więc bardziej efektywnych, co prowadzi do oszczędności paliwa.

Potencjalnie ważnym źródłem wodoru mogą być także gazy poprodukcyjne (Grzybek, Grochowski 2005; Gardziński, Molenda 2005; Żyła, Kreiner 2007). Spośród tych gazów w warunkach polskich szczególnie duże znaczenie ma gaz koksowniczy (Karcz, Tramer 2003; Tramer i in. 2005; Karcz i in. 2006). Przemawiają za tym m.in. następujące przesłanki:

- ✧ wysoka zawartość wodoru w gazie koksowniczym (ok. 50%),
- ✧ znacząca ilość produkowanego gazu (roczna produkcja ok. 4,5 mld m³, z czego połowę stanowi gaz nadmiarowy – potencjalny surowiec do wytwarzania wodoru),
- ✧ dobre perspektywy dla branży koksowniczej opartej na krajowej bazie surowcowej.

W ramach realizowanego projektu, którego celem jest ocena przydatności krajowej bazy węgla brunatnych i kamiennych dla procesów wytwarzania wodoru, dokonano m.in. analizy pełnego cyklu drogi pozyskiwania i przetwórstwa węgla (*Life Cycle Assessment* – w skrócie: LCA) w aspekcie określenia wielkości emisji CO₂. Metoda LCA (SEATAC... 1993) umożliwia ocenę wpływu danego produktu na środowisko na każdym etapie jego życia, począwszy od wykorzystywanych w jego produkcji surowców i energii aż do utylizacji odpadów po zakończeniu użytkowania produktu. W przeciwieństwie do tradycyjnych metod zarządzania środowiskiem, metoda LCA umożliwia dodatkowo identyfikację elementów generujących największe negatywne wpływy w całym cyklu życia (Model... 2004). Metodyka prowadzenia analiz LCA sprecyzowana została w serii norm PN-EN ISO 14040–14043:2002. Przykładem analizy przeprowadzonej zgodnie z tą metodyką jest analiza zużycia energii oraz oddziaływania na środowisko przez silniki zasilane różnymi paliwami (Well-to-Wheels... 2007).

W wyniku przeprowadzonej przez autorów analizy dostępnych, jak też perspektywicznych technologii konwersji węgla do wodoru, do dalszej oceny wybrano dwie z nich: zgazowanie węgla w reaktorach dyspersyjnych oraz pozyskiwanie wodoru z gazu koksowniczego. Analiza wymagań obu tych procesów (zgazowanie i koksowanie) w aspekcie jakości węgla oraz ocena dostępnej bazy węglowej pozwoliła wytypować jako surowce do procesu zgazowania węgiel brunatny oraz niskozmetamorfizowany węgiel kamienny typu 31, natomiast do procesu koksowania, w którym funkcją celu jest produkcja wysokiej jakości koksu wielkopieczowego – mieszanki węgla ortokoksowych typu 35 z niewielkim udziałem węgla gazowo-koksowego typu 34. W pierwszym etapie realizacji projektu dla tak wytypowanych surowców węglowych dokonano oszacowania wielkości emisji CO₂ w procesach: pozyskiwania, wzbogacania i transportu tych węgla z kopalń do użytkownika (w tym przypadku koksowni lub przyszłego zakładu zgazowania węgla). Uzyskane wyniki stanowią treść artykułu.

Zastosowana przez autorów metoda oszacowania wskaźników emisji CO₂ związanej z pozyskiwaniem, przeróbką mechaniczną, jak też transportem zarówno dla węgla brunatnego jak i węgla kamiennych polegała na zebraniu oraz analizie danych i informacji dotyczących zużycia netto poszczególnych form energii w omawianych operacjach. Na podstawie znajomości wskaźników emisji CO₂ związanych z wyprodukowaniem jednostkowych ilości energii możliwe było wyznaczenie wskaźników emisji CO₂ w odniesieniu do 1 Mg surowca węglowego. Odpowiednie informacje i dane liczbowe uzyskano od krajowych producentów węgla oznaczonych w dalszej części publikacji symbolami:

- A – kopalnia węgla brunatnego,
- B – kopalnia węgla kamiennego typu 31,
- C – zespół kopalń węgla koksowych.

1. Węgiel brunatny do procesu zgazowania (kopalnia A)

W bilansie zużycia energii w procesie pozyskiwania węgla brunatnego dominującą pozycję zajmuje energia elektryczna. Zużycie pozostałych mediów energetycznych jest zanedbywalnie małe, a dane ilościowe są mało wiarygodne z uwagi na niedostateczny monitoring tego zużycia. Z tego powodu dalsze rozważania ograniczono tylko do energii elektrycznej.

Według Kasztelewicza (2008) zużycie energii elektrycznej w procesie wydobywczym w poszczególnych kopalniach odkrywkowych różni się nieco ze względu na:

- ✧ stosunek nadkładu do węgla (charakteryzowany za pomocą wskaźnika: N/W),
- ✧ ilość przepompowywanej wody (zależnej od wskaźnika zawodnienia złoża),
- ✧ energochłonność stosowanych maszyn i urządzeń,
- ✧ długość ciągów transportowych,
- ✧ stopień wykorzystania zdolności produkcyjnych.

Obiektem oceny była jedna z polskich kopalń węgla brunatnego, wybrana z uwagi na wielkość zasobów i poziom wydobywania oraz dobre opomiarowanie zużycia energii elektrycznej w procesie pozyskiwania węgla. Na podstawie wielkości produkcji rocznej węgla oraz globalnego zużycia energii elektrycznej wyznaczono wskaźnik średniego zużycia tej energii w przeliczeniu na 1 Mg wyprodukowanego węgla. Wartość tego wskaźnika wyniosła 31,4267 kW·h/Mg. Struktura zużycia energii elektrycznej w tej kopalni przedstawia się następująco [%]:

✧ na potrzeby odwodnienia złoża	28,69,
✧ przez ciąg technologiczny (koparki, taśmociągi, zwałowarki)	67,95,
✧ przez zakłady wydzielone (głównie służby utrzymania ruchu)	1,64,
✧ przez administrację i służby socjalne	1,72.

W myśl przyjętych w projekcie założeń do potrzeb energetycznych wydobywania i składowania węgla należy jeszcze dodać transport węgla do zakładu jego zgazowania. Ze względu na właściwości wydobywanego miękkiego węgla brunatnego (średnia zawartość wilgoci całkowitej $W_t^r = 53,3\%$; wartość opałowa $Q_i^r = 8,18$ MJ/kg) można przyjąć, że zakład zgazowania musi być zlokalizowany w najbliższym otoczeniu kopalni. Transport węgla do odbiorcy odbywać się będzie wówczas przenośnikami taśmowymi. W oparciu o zgromadzone dane przemysłowe można przyjąć, iż w tych warunkach szacunkowe zużycie energii elektrycznej na przetransportowanie 1 Mg węgla na odległość 1 km wynosi około 0,4 kW·h.

Opierając się na danych uzyskanych z elektrowni, która zasilana jest węglem brunatnym z kopalni A, wyznaczono wskaźnik emisji CO₂ powstającej przy produkcji 1 kW·h energii elektrycznej, który wynosi 1,188 kg CO₂/kW·h.

W efekcie jednostkowy wskaźnik emisji CO₂ związanej z produkcją i transportem węgla brunatnego do zakładu jego zgazowania wynosić będzie:

$$WE_{CO_2-(prod+transp)-A} = (WZ_{e-el-prod.A} + WZ_{e-el-transp.A} \cdot l) \cdot WE_{CO_2-kWh-wb} \quad (1)$$

gdzie: $WE_{CO_2-(prod+transp)-A}$ – jednostkowy wskaźnik emisji CO₂ związanej z produkcją i transportem 1 Mg węgla z kopalni A do zakładu zgazowującego [kg CO₂/Mg],

$WZ_{e-el-prod.A}$ – wskaźnik zużycia energii elektrycznej związanej z wyprodukowaniem 1 Mg węgla w kopalni A [kW·h/Mg],

$WZ_{e-el-transp.A}$ – wskaźnik zużycia energii elektrycznej związanej z transportem 1 Mg węgla z kopalni A na odległość 1 km [kW·h/(Mg·km)],

l – długość drogi transportu węgla z kopalni A do zakładu zgazowania [km],

$WE_{CO_2-kWh-wb}$ – wskaźnik emisji CO₂ związanej z wyprodukowaniem 1 kW·h energii elektrycznej z węgla brunatnego [kg CO₂/kW·h].

Wyznaczony z równania (1) wskaźnik odniesiony do 1 Mg węgla brunatnego przeliczono następnie na wskaźnik odniesiony do 1 GJ wartości opałowej węgla:

$$WE_{CO_2-(prod+transp)-A}^Q = \frac{WE_{CO_2-(prod+transp)-A}}{Q_i^r} \quad (2)$$

gdzie: $WE_{CO_2-(prod+transp)-A}^Q$ – jednostkowy wskaźnik emisji CO₂ związanej z produkcją i transportem węgla brunatnego odniesiony do jego wartości opałowej [kg CO₂/GJ],

Q_i^r – wartość opałowa węgla brunatnego w stanie roboczym [MJ/kg].

2. Węgiel kamienny do procesu zgazowania (kopalnia B)

Analizowanym obiektem była górnośląska kopalnia głębinowa, eksploatująca węgiel typu 31 na głębokościach od 375 do 714 m, posiadająca bogate zasoby tego węgla. W kopalni tej eksploatacja węgla prowadzona jest w całości systemem ścianowym z załazem stropu, przy wysokości ścian dochodzących do 4,5 m. Wzbogaca się tylko wydzielony z urobku sortyment powyżej 20 mm w cieczy ciężkiej (wzbogacalniki Disa). W efekcie, w strukturze produkcji węgiel stanowi około 90,5%, a odpady 9,5%. Obliczeń wielkości emisji CO₂ dokonano w oparciu o dane produkcyjne tej kopalni jak też dane dostępne w literaturze (Nycz, Zieleźny 2004).

W bilansie emisji CO₂ związanej z wydobyciem i wzbogacaniem węgla uwzględniono dwa składniki: energię elektryczną i energię cieplną. Wyliczony na podstawie danych produkcyjnych za 2007 r. wskaźnik zużycia energii elektrycznej wyniósł 36,3839 kW·h/Mg węgla. Struktura zużycia tej energii przedstawia się następująco [%]:

✧ dół kopalni	67,4,
✧ maszyny wyciągowe	9,5,
✧ wentylatory główne	8,9,
✧ przeróbka mechaniczna	9,9,
✧ pozostałe	4,3.

Wyznaczony w podobny sposób wskaźnik zużycia energii cieplnej wyniósł natomiast 34,925 MJ/Mg węgla, przy następującej strukturze zużycia [%]:

- ✧ ogrzewanie szybów 13,4,
- ✧ ogrzewanie pomieszczeń 68,8,
- ✧ przygotowanie ciepłej wody użytkowej 17,8.

Przy założeniu, że energia elektryczna i ciepła pochodzą w tym przypadku z elektrociepłowni zasilanej węglem kamiennym, wskaźniki emisji CO₂ zaczerpnięte z Agencji Rynku Energii (Charakterystyki... 2005) wynoszą odpowiednio:

$$0,9124 \text{ kg CO}_2/\text{kW}\cdot\text{h} \quad \text{oraz} \quad 101,1300 \text{ kg CO}_2/\text{GJ}.$$

Założono, że węgiel z kopalni B może być transportowany do zakładu zgazowania przenośnikiem taśmowym lub w przypadku większej jego odległości od kopalni koleją.

Celem wyznaczenia wskaźnika zużycia energii na potrzeby transportu koleją węgla z kopalni do zakładu zgazowania wykorzystano dane zawarte w „Raporcie rocznym grupy PKP” dotyczące wyników PKP Energetyka Sp. z o.o. oraz PKP Cargo S.A. Uwzględniając te dane można przyjąć, że wartość wskaźnika zużycia energii elektrycznej na potrzeby transportu kolejowego 1 Mg węgla na odległość 1 km wynosi 0,0789 kW·h/(Mg·km).

Natomiast w przypadku zastosowania transporterów taśmowych przyjęto jak dla węgla brunatnego, że szacunkowe zużycie energii elektrycznej na przetransportowanie 1 Mg węgla na odległość 1 km wynosić będzie około 0,4 kW·h.

Po uwzględnieniu wielkości emisji CO₂ związanej z wyprodukowaniem 1 kW·h energii elektrycznej, końcowa postać zależności opisującej wielkość emisji CO₂ związanej z produkcją i transportem węgla kamiennego do zakładu jego zgazowania przedstawia się następująco:

$$WE_{CO_2-(prod+transp)-B} = WZ_{e-el-prod.B} \cdot WE_{CO_2-kWh-wk} + WZ_{e-c-prod.B} \cdot WE_{CO_2-GJ-wk} + WZ_{e-el-transp.B} \cdot l \cdot WE_{CO_2-kWh-wk} \quad (3)$$

- gdzie: $WE_{CO_2-(prod+transp)-B}$ – jednostkowy wskaźnik emisji CO₂ związanej z produkcją i transportem 1 Mg węgla z kopalni B do zakładu zgazowania [kg CO₂/Mg],
- $WZ_{e-el-prod.B}$ – wskaźnik zużycia energii elektrycznej na wyprodukowanie 1 Mg węgla w kopalni B [kW·h/Mg],
- $WE_{CO_2-kWh-wk}$ – wskaźnik emisji CO₂ związanej z wyprodukowaniem 1 kW·h energii elektrycznej z węgla kamiennego [kg CO₂/kW·h],
- $WZ_{e-c-prod.B}$ – wskaźnik zużycia energii cieplnej w kopalni B na wyprodukowanie 1 Mg węgla [GJ/Mg],
- $WE_{CO_2-GJ-wk}$ – wskaźnik emisji CO₂ związanej z wyprodukowaniem 1 GJ energii cieplnej [kg CO₂/GJ],
- $WZ_{e-el-transp.B}$ – wskaźnik zużycia energii elektrycznej na transport koleją (lub transporterami taśmowymi) 1 Mg węgla z kopalni B na odległość 1 km [k·Wh/(Mg·km)],
- l – odległość drogi transportu węgla do zakładu zgazowania [km].

Wyznaczony z równania (3) wskaźnik emisji CO₂ odniesiony do 1 Mg przeznaczonego do zgazowania węgla typu 31 przeliczono następnie na wskaźnik odnoszący się do 1 GJ wartości opałowej tego węgla:

$$WE_{CO_2-(prod+transp)-B}^Q = \frac{WE_{CO_2-(prod+transp)-B}}{Q_i^r} \quad (4)$$

3. Węgle kamienne do procesu koksowania (zespół kopalń C)

Analizę przeprowadzono dla kompleksu kopalń stanowiących trzon bazy węglowej polskiego koksownictwa. Wszystkie te kopalnie eksploatujące pokłady na głębokościach od 550 do 900 m posiadają zakłady przerobcze charakteryzujące się pełną technologią wzbogacania węgla (wzbogacanie grawitacyjne – wzbogacalniki z cieczą ciężką i osadzarki), obejmującą całość wydobywanego urobku. Struktura produkcji tych kopalń przedstawia się następująco [%]:

✧ węgiel koksowy	53,2,
✧ węgiel do celów energetycznych	10,2,
✧ odpady	36,6.

Oceniając emisję CO₂ związaną z wydobywaniem i wzbogacaniem węgla w rozpatrywanych kopalniach oparto się na ich danych produkcyjnych oraz informacjach literaturowych (Kowalczyk, Strzelec 2004; Zagórowski i in. 2008). W bilansie tej emisji uwzględniono kilka składników.

Pierwszy z nich dotyczy zużywanego energii elektrycznej. Wyznaczony w oparciu o dane produkcyjne tych kopalń za 2007 r. wskaźnik jej zużycia wynosi 68,0155 kW·h/Mg węgla, przy poniższej strukturze tego zużycia [%]:

✧ dół kopalni	32,3,
✧ maszyny wciągowe	10,9,
✧ wentylatory główne i sprężarki	30,3,
✧ zakłady przeróbki mechanicznej	17,6,
✧ pozostałe	9,2.

W przypadku energii cieplnej wyznaczony w podobny sposób wskaźnik jej zużycia wyniósł 43,986 MJ/Mg węgla, a struktura zużycia tej energii kształtowała się następująco [%]:

✧ ogrzewanie szybów	13,2,
✧ ogrzewanie pomieszczeń	61,3,
✧ przygotowanie ciepłej wody użytkowej	25,5.

W sytuacji rozpatrywanych kopalń uwzględnić należy jeszcze dodatkowy element, związany z pozyskiwaniem i wykorzystaniem we własnej elektrociepłowni części gazów

kopalnianych o średniej zawartości metanu 56,66% obj. W efekcie w przeliczeniu na 1 Mg wydobytego węgla uzyskuje się:

energii elektrycznej: 28,4317 kW·h,
 energii cieplnej: 0,0701 GJ,
 sprężonego powietrza: 5,1 m³.

W tym ostatnim przypadku pozwala to dodatkowo zaoszczędzić:

$$5,1 \text{ m}^3/\text{Mg} \cdot 0,0833 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3 = 0,0428 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{Mg} \text{ energii elektrycznej.}$$

Przy wyznaczaniu emisji CO₂ związanej z energią elektryczną i ciepłą zużywaną w procesach wydobycia, przeróbki mechanicznej i transportu węgla z zespołu kopalń C do koksowni przyjęto, iż:

- ❖ całość energii elektrycznej wytwarzanej w elektrociepłowni zasilanej gazem pochodzącym z odmetanowania tych kopalń zużywana będzie na wydobycie i przeróbkę mechaniczną węgla; brakująca część energii do tego celu, jak również energia elektryczna dla transportu kolejowego pochodząca będzie z klasycznej elektrowni zasilanej węglem kamiennym (przyjęto wskaźnik emisji CO₂ identyczny jak w przypadku energii elektrycznej wytwarzanej na potrzeby kopalni B);
- ❖ całość zużywanej przez zespół tych kopalń energii cieplnej wytwarzana będzie w elektrociepłowni zasilanej gazem z odmetanowania tych kopalń, nadwyżka wyprodukowanego ciepła będzie natomiast sprzedawana (wskaźnik emisji CO₂ związany z wyprodukowaniem 1 GJ energii cieplnej jest równy 63,46 kg CO₂).

Wskaźniki emisji CO₂ związane z wytwarzaniem energii elektrycznej i cieplnej w elektrociepłowni zasilanej gazem kopalnianym przyjęto na podstawie jej danych produkcyjnych przy uwzględnieniu ilości pozyskiwanego metanu w odniesieniu do 1 Mg wydobywanego węgla. Uwzględniając te dane wyznaczono wskaźnik emisji związanej ze spalaniem metanu z odmetanowania kopalń, który wyniósł 20,6027 kg CO₂/Mg węgla.

Dodatkowo uwzględniono, iż 61% metanu jest odprowadzana do atmosfery z powietrzem wentylacyjnym. Ze względu na niskie stężenie metanu w tym strumieniu, jako racjonalny technicznie i ekonomicznie sposób jego utylizacji przyjęto katalityczne spalanie do CO₂ (bez produkcji energii użytecznej). Wskaźnik ilości zrzucanego z powietrzem wentylacyjnym metanu wynosi 16,6633 m³ CH₄/Mg, zaś wskaźnik emisji CO₂ przy katalitycznym spalaniu całej ilości metanu jest równy 32,7317 kg CO₂/Mg wydobywanego węgla.

Przyjmując ponadto identyczne jak w przypadku węgla z kopalni B wielkości emisji CO₂ związanej z transportem kolejną węgla do koksowni uzyskano następującą zależność końcową opisującą jednostkowy wskaźnik emisji CO₂ związanej z produkcją i transportem węgla z kopalń C do koksowni:

$$\begin{aligned} WE_{CO_2-(prod+transp)-C} = & WZ_{e-el-prod.C}^{netto} \cdot WE_{CO_2-kWh-wk} + WZ_{e-c-prod.C}^{netto} \cdot \\ & \cdot WE_{CO_2-GJ-CH_4} + WE_{CO_2-spalCH_4} + WE_{CO_2-spal.katCH_4} + \\ & + WZ_{e-el-transp.C} \cdot l \cdot WE_{CO_2-kWh-wk} \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie: $WE_{CO_2-(prod+transp)-C}$	–	jednostkowy wskaźnik emisji CO ₂ związanej z produkcją i transportem 1 Mg węgla z kopalń C do koksowni [kg CO ₂ /Mg],
$WZ_{e-el-prod.C}^{netto}$	–	wskaźnik zużycia energii elektrycznej netto (zużycie minus produkcja energii w elektrociepłowni zasilanej gazem kopalnianym) dla uzyskania 1 Mg węgla koksowego [kW·h/Mg],
$WE_{CO_2-kWh-wk}$	–	wskaźnik emisji CO ₂ związanej z wyprodukowaniem 1 kW·h energii elektrycznej z węgla kamiennego [kg CO ₂ /kW·h],
$WZ_{e-GJ-prod.C}^{netto}$	–	wskaźnik zużycia energii cieplnej netto (zużycie minus produkcja energii w elektrociepłowni zasilanej gazem kopalnianym) dla uzyskania 1 Mg węgla koksowego [kW·h/Mg],
$WE_{CO_2-GJ-CH_4}$	–	wskaźnik emisji CO ₂ związanej z wyprodukowaniem 1 GJ energii cieplnej ze spalania metanu [kg CO ₂ /GJ],
$WE_{CO_2-spalCH_4}$	–	wskaźnik emisji CO ₂ w elektrociepłowni zasilanej gazem kopalnianym (w przeliczeniu na 1 Mg wyprodukowanego węgla) [kg CO ₂ /Mg],
$WE_{CO_2-spal.katCH_4}$	–	wskaźnik emisji CO ₂ z katalitycznego spalania metanu zawartego w powietrzu wentylacyjnym (w przeliczeniu na 1 Mg wyprodukowanego węgla) [kg CO ₂ /Mg],
l	–	odległość, na jaką węgiel jest transportowany z kopalń C do koksowni [km],
$WZ_{e-el-transp.C}$	–	wskaźnik zużycia energii elektrycznej związanej z transportem kolejną 1 Mg węgla na odległość 1 km [kW·h/(Mg·km)].

Z bilansu energii dla elektrociepłowni spalającej gaz kopalniany wynika, że wytwarza ona więcej ciepła niż wynoszą potrzeby związane z produkcją węgla. W tej sytuacji wskaźnik przyjmuje wartość ujemną, co w konsekwencji oznacza obniżenie jednostkowego wskaźnika emisji CO₂ o wielkość tej emisji związanej z produkcją ciepła dla odbiorców zewnętrznych.

Po dokonaniu odpowiednich przekształceń otrzymano następującą końcową postać rozpatrywanej zależności:

$$\begin{aligned}
 WE_{CO_2-(prod+transp)-C} &= (WZ_{e-el-prod.C} - WP_{e-el-C} - WP_{e-el-C-pow}) \cdot \\
 &\cdot WE_{CO_2-kWh-wk} + (WZ_{e-c-prod.C} - WP_{e-c-C}) \cdot WE_{CO_2-GJ-CH_4} + WE_{CO_2-spalCH_4} + (6) \\
 &+ WE_{CO_2-spal.katCH_4} + WZ_{e-el-transp.C} \cdot l \cdot WE_{CO_2-kWh-wk}
 \end{aligned}$$

gdzie: $WE_{CO_2-(prod+transp)-C}$	–	jednostkowy wskaźnik emisji CO ₂ związanej z produkcją i transportem 1 Mg węgla z kopalń C do koksowni [kg CO ₂ /Mg],
$WZ_{e-el-prod.C}$	–	wskaźnik zużycia energii elektrycznej związanej z produkcją 1 Mg węgla w kopalniach C [kW·h/Mg],
WP_{e-el-C}	–	wskaźnik ilości energii elektrycznej produkowanej z gazów kopalnianych (przeliczony na 1 Mg produkowanego węgla) [kW·h/Mg],
$WP_{e-el-C-pow}$	–	wskaźnik zaoszczędzonej energii elektrycznej związanej z wyprodukowaniem sprężonego powietrza [kW·h/Mg],
$WE_{CO_2-kWh-wk}$	–	wskaźnik emisji CO ₂ związanej z wyprodukowaniem 1 kW·h energii elektrycznej z węgla kamiennego [kg CO ₂ /kW·h],
$WZ_{e-c-prod.C}$	–	wskaźnik zużycia energii cieplnej związanej z wyprodukowaniem 1 Mg węgla w kopalni C [GJ/Mg],
WP_{e-c-C}	–	wskaźnik ilości energii cieplnej wytwarzanej z gazów kopalnianych (w przeliczeniu na 1 Mg produkowanego węgla) [GJ/Mg],

$WE_{CO_2-GJ-CH_4}$	– wskaźnik emisji CO ₂ związanej z wyprodukowaniem 1 GJ energii cieplnej ze spalania metanu [kg CO ₂ /GJ],
$WE_{CO_2-spalCH_4}$	– wskaźnik emisji CO ₂ ze spalania metanu z gazów kopalnianych w elektrociepłowni (w przeliczeniu na 1 Mg wyprodukowanego węgla) [kg CO ₂ /Mg],
$WE_{CO_2-spal.katCH_4}$	– wskaźnik emisji CO ₂ z katalitycznego spalania metanu zawartego w powietrzu wentylacyjnym (w przeliczeniu na 1 Mg wyprodukowanego węgla) [kg CO ₂ /Mg],
$WZ_{e-el-transp.B}$	– wskaźnik zużycia energii elektrycznej związanej z transportem koleją 1 Mg węgla na odległość 1 km [kW·h/(Mg·km)],
l	– odległość, na jaką węgiel jest transportowany z kopalni do koksowni [km].

Wyliczony z równania (6) wskaźnik emisji CO₂ odniesiony do 1 Mg węgla koksowego, przeliczano następnie na wskaźnik odniesiony do 1 GJ wartości opałowej węgla:

$$WE_{CO_2-(prod+transp)-C}^Q = \frac{WE_{CO_2-(prod+transp)-C}}{Q_i^r} \quad (7)$$

4. Wskaźniki emisji CO₂ w procesie pozyskiwania, wzbogacania i transportu węgla

W tabeli 1 zestawiono dane wyjściowe oraz wyznaczone wskaźniki zużycia energii elektrycznej do transportu węgla oraz wskaźniki emisji CO₂ związanej z tym transportem. W tabeli 2 zestawiono wyznaczone w oparciu o zależności (1–6) wskaźniki emisji CO₂ związane z produkcją i transportem wybranych węgla.

Dla celów porównawczych dokonano obliczeń przewidywanej emisji CO₂ przy założeniu, iż transport taśmociągami do usytuowanych w pobliżu kopalń zakładów zgazowania węgla odbywał się będzie na odległość 10 km, natomiast odległość na jaką transportowany będzie węgiel do zakładu zgazowania, a także koksowni, wynosić będzie 100 km. Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunkach 1 oraz 2.

Najniższą jednostkową emisję CO₂ odniesioną do 1 Mg węgla odnotowano dla węgla kamiennego energetycznego transportowanego do zakładu jego zgazowania taśmociągami (rys. 1). Nieznacznie tylko większy wskaźnik ten okazał się dla węgla brunatnego (transport taśmociągami) oraz węgla kamiennego energetycznego transportowanego do zakładu jego zgazowania koleją. W przypadku węgla kamiennego koksowego transportowanego do koksowni koleją wskaźnik ten jest prawie o połowę większy. Należy jednak podkreślić, iż podstawowym produktem uzyskiwanym z tego węgla jest koks, a produktami ubocznymi smoła i gaz koksowniczy. Z tych powodów obciążenie emisją CO₂ należy odpowiednio

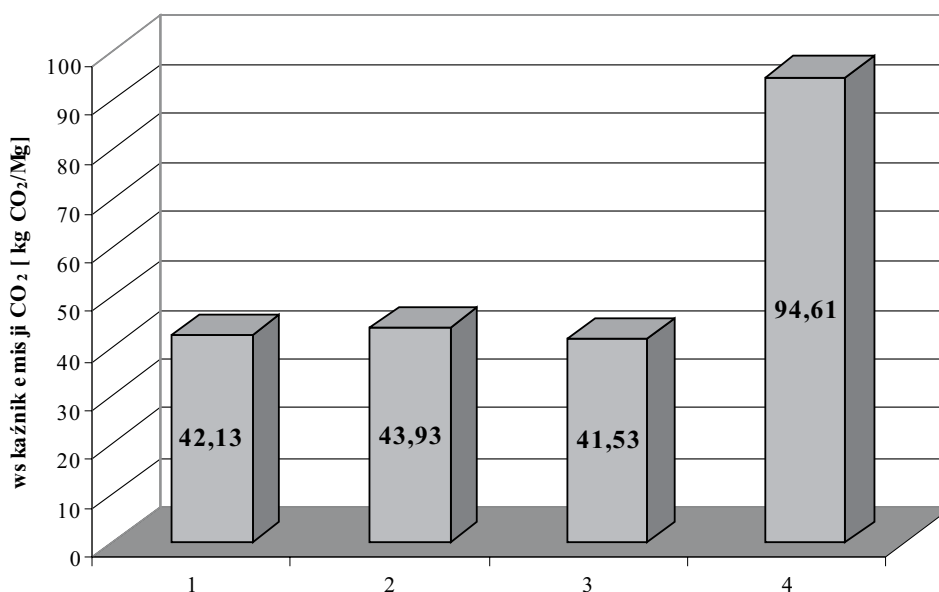
TABELA 1. Wskaźniki zużycia energii dla transportu węgla i związanej z nim emisji CO₂TABLE 1. Energy consumption and CO₂ emission rates for coal transport

Wielkość	Jednostka	Wartość
Transport kolejowy węgla kamiennego z kopalni do koksowni		
Zużycie energii trakcyjnej*	TW·h	3,0
Masa ładunków przewiezionych lokomotywami elektrycznymi*	Mg	131 082 483
Średnia odległość przewozu*	km	290,6
Średnia masa netto 1 pociągu*	Mg	1 227,0
Jednostkowy wskaźnik zużycia energii elektrycznej do przewozu	kW·h/(Mg·km)	0,079
Jednostkowy wskaźnik emisji CO ₂ związanej z transportem	kg CO ₂ /(Mg·km)	0,072
Transport węgla kamiennego i brunatnego taśmociągami z kopalni do zakładu zgazowania		
Jednostkowy wskaźnik zużycia energii elektrycznej do transportu	kW·h/(Mg·km)	0,4
Jednostkowy wskaźnik emisji CO ₂ związanej z transportem	kg CO ₂ /(Mg·km)	0,480

* Dane PKP Energetyka sp. z o.o. oraz PKP CARGO S.A.

TABELA 2. Jednostkowe wskaźniki emisji CO₂ związane z produkcją i transportem węglaTABLE 2. Rates of the CO₂ emission connected with coal mining, preparation and transport to the gasification/coking plant

Wskaźnik emisji CO ₂	Jednostka	Wartość
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z produkcją węgla brunatnego w kopalni A	kg CO ₂ /Mg	37,33
	kg CO ₂ /GJ	4,56
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z transportem na odległość 1 km węgla brunatnego z kopalni A do zakładu zgazowania	kg CO ₂ /(Mg·km)	0,480
	kg CO ₂ /(GJ·km)	0,059
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z produkcją węgla kamiennego z kopalni B	kgCO ₂ /Mg	36,73
	kgCO ₂ /GJ	1,94
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z transportem kolejną na odległość 1 km węgla kamiennego z kopalni B do zakładu zgazowania	kg CO ₂ /(Mg·km)	0,072
	kg CO ₂ /(GJ·km)	0,004
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z transportem taśmociągami na odległość 1 km węgla kamiennego z kopalni B do zakładu zgazowania	kg CO ₂ /(Mg·km)	0,365
	kg CO ₂ /(GJ·km)	0,019
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z produkcją węgla kamiennych z kopalń C	kg CO ₂ /Mg	87,41
	kg CO ₂ /GJ	3,58
Wskaźnik emisji CO ₂ związany z transportem kolejną na odległość 1 km węgla kamiennych z kopalń C do koksowni	kg CO ₂ /(Mg·km)	0,072
	kg CO ₂ /(GJ·km)	0,003



Rys. 1. Porównanie wskaźników jednostkowej emisji CO₂ związanej z pozyskaniem, wzbogacaniem i transportem węgla do zakładu zgazowania/koksowni (w odniesieniu do 1 Mg węgla)
 1 – węgiel brunatny transportowany do zakładu zgazowania taśmociągiem, 2 – węgiel kamienny energetyczny transportowany do zakładu zgazowania koleją, 3 – węgiel kamienny energetyczny transportowany do zakładu zgazowania taśmociągiem, 4 – węgiel kamienny koksowy transportowany do koksowni koleją

Fig. 1. Comparison of the CO₂ emission rate connected with coal mining, processing and transport to the gasification/coking plant (per 1 Mg of coal)

1 – brown coal transported to the gasification plant by belt conveyor flight, 2 – steam coal transported to the gasification plant by rail, 3 – steam coal transported to the gasification plant by belt conveyor flight, 4 – coking coal transported to the coking plant by rail

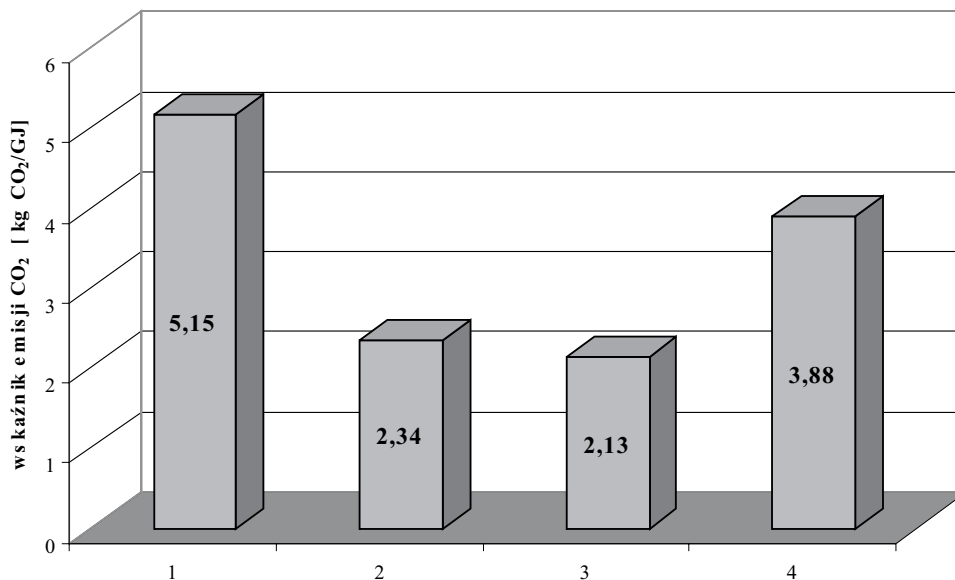
rozłożyć na wszystkie produkty koksowni, co będzie oczywiście dokonane w następnym etapie prac związanych z realizacją projektu badawczego.

Istotne znaczenie praktyczne posiadają wskaźniki emisji CO₂ odniesione do 1 GJ energii zawartej w węglu (rys. 2). Najmniejsze wartości tego wskaźnika odnotowano dla węgla kamiennego energetycznego (zarówno transportowanego taśmociągiem jak i koleją). Na podkreślenie zasługuje fakt, iż w przypadku węgla koksowego transportowanego koleją rozpatrywany wskaźnik emisji jest tylko nieznacznie większy, podczas gdy dla węgla brunatnego transportowanego taśmociągiem jest on ponad dwukrotnie większy.

Strukturę emisji CO₂ związanej z operacjami pozyskiwania, wzbogacania i transportu węgla dla rozpatrywanych przypadków jego konwersji przedstawiono na rysunkach 3–6.

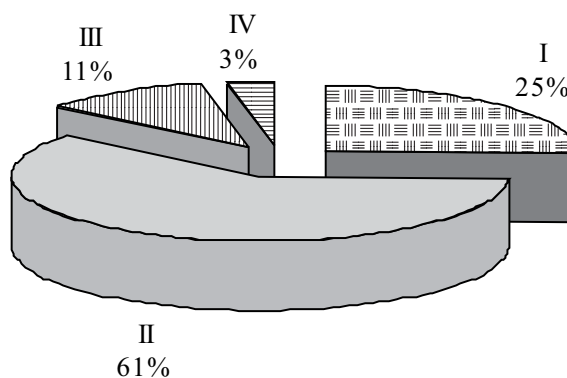
W przypadku rozpatrywanego węgla brunatnego dominującą pozycję (ponad 60%) stanowi emisja CO₂ towarzysząca operacjom technologicznym udostępnienia złoża do eksploatacji oraz samą jego eksploatacją (rys. 3). Kolejną dużą pozycją jest emisja CO₂ związana z operacjami odwodnienia złoża (ok. 1/4 całej rozpatrywanej emisji).

W przypadku węgla kamiennego energetycznego głównym źródłem emisji CO₂ jest jego urobek i jego transport na powierzchnię (prawie 2/3 rozpatrywanej emisji). Emisja związana z procesami przeróbki węgla oraz wentylacją kopalń jest na zbliżonym poziomie (po ok. 7%).



Rys. 2. Porównanie wskaźników jednostkowej emisji CO₂ związanej z pozyskaniem, wzbogacaniem i transportem węgla do zakładu zgazowania/koksowni (w odniesieniu do 1 GJ energii zawartej w węglu)
 1 – węgiel brunatny transportowany do zakładu zgazowania taśmociągami, 2 – węgiel kamienny energetyczny transportowany do zakładu zgazowania koleją, 3 – węgiel kamienny energetyczny transportowany do zakładu zgazowania taśmociągami, 4 – węgiel kamienny koksowy transportowany do koksowni koleją

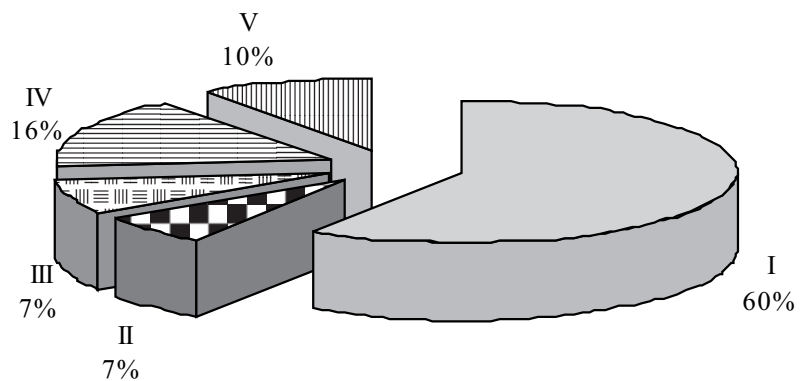
Fig. 2. Comparison of the CO₂ emission rate connected with coal mining, processing and transport to the gasification/coking plant (per 1 GJ of coal energy)
 1 – brown coal transported to the gasification plant by belt conveyor flight, 2 – steam coal transported to the gasification plant by rail, 3 – steam coal transported to the gasification plant by belt conveyor flight, 4 – coking coal transported to the coking plant by rail



Rys. 3. Struktura emisji CO₂ związanej z pozyskaniem węgla brunatnego i jego transportem do zakładu zgazowania taśmociągami

I – odwodnienie złoża, II – ciągi technologiczne, III – transport do zakładu zgazowania węgla, IV – pozostałe
 Fig. 3. CO₂ emission connected with brown coal mining and coal transport to the gasification plant by belt conveyor flight

I – drainage of coal deposits, II – process lines, III – transport to the gasification plant, IV – others

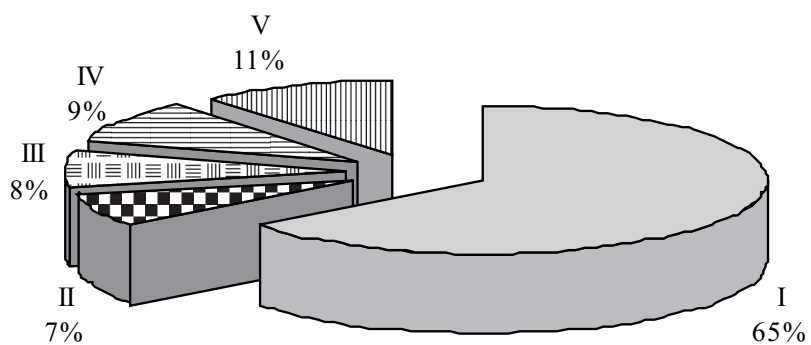


Rys. 4. Struktura emisji CO₂ związanej z wydobyciem i przeróbką mechaniczną węgla kamiennego energetycznego oraz jego transportem do zakładu zgazowania koleją

I – wydobycie węgla (dół kopalni + maszyny wyciągowe), II – wentylatory główne, III – przeróbka mechaniczna węgla, IV – transport węgla koleją do zakładu zgazowania węgla, V – pozostałe

Fig. 4. Structure of the CO₂ emission connected with steam coal mining, preparation and coal transport to the gasification plant by rail

I – coal underground extraction, II – main fans (coal mine ventilation), III – coal preparation, IV – transport to the gasification plant, V – others

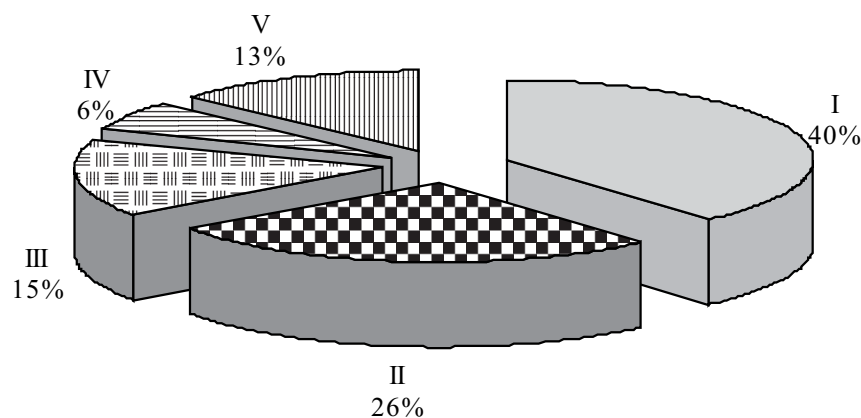


Rys. 5. Struktura emisji CO₂ związanej z wydobyciem i przeróbką mechaniczną węgla kamiennego energetycznego oraz jego transportem do zakładu zgazowania taśmociągiem

I – wydobycie węgla (dół kopalni + maszyny wyciągowe), II – wentylatory główne, III – przeróbka mechaniczna węgla, IV – transport węgla taśmociągiem do zakładu zgazowania węgla, V – pozostałe

Fig. 5. Structure of the CO₂ emission connected with steam coal mining, preparation and coal transport to the gasification plant by belt conveyor flight

I – coal underground extraction, II – main fans (coal mine ventilation), III – coal preparation, IV – transport to the gasification plant, V – others



Rys. 6. Struktura emisji CO₂ związanej z wydobyciem i przeróbką mechaniczną węgla kamiennego koksowego oraz jego transportem kolejowym do koksowni
 I – wydobycie węgla (dół kopalni + maszyny wyciągowe), II – wentylatory główne i sprężarki, III – przeróbka mechaniczna węgla, IV – transport węgla do koksowni, V – pozostałe

Fig. 6. Structure of the CO₂ emission connected with coking coal mining, preparation and coal transport to the coking plant by rail
 I – coal underground extraction, II – main fans (coal mine ventilation), III – coal preparation, IV – transport to the gasification plant, V – others

W przypadku węgla kamiennego koksowego (rys. 6) emisja CO₂ związana z urobkiem i transportem węgla na powierzchnię stanowi tylko niespełna 40% całej rozpatrywanej emisji. W porównaniu z węglem kamiennym energetycznym na uwagę zasługuje większy udział emisji związanej z wentylacją kopalń, co wynika z wysokiej metanowości rozpatrywanego zespołu kopalń C, a zatem także ostrzejszych wymagań odnośnie do intensywności ich wentylacji. Większy jest też udział emisji związanej z procesami przeróbki mechanicznej węgla, co z kolei wynika z wymagań odbiorców (koksowni) dotyczących niskiej zawartości popiołu. Z tych powodów bardziej rozbudowana, a zatem i bardziej energochłonna jest technologia wzbogacania węgla koksowych niż węgla kamiennych energetycznych.

Udział emisji CO₂ związanej z transportem węgla do zakładów jego konwersji kształtował się w przedziale od 16% (w przypadku węgla kamiennego energetycznego transportowanego koleją do zakładu zgazowania) przez około 10% (w przypadku węgla brunatnego oraz kamiennego węgla energetycznego transportowanego taśmociągami do zakładu zgazowania) do 6% (dla węgla koksowego).

Podsumowanie

Operacje pozyskiwania, wzbogacania oraz transportu węgla do zakładów jego zgazowania/koksowania stanowią początkowe ogniwa cyklu wytwarzania wodoru z surowców

węglowych. Dla tych właśnie operacji wyznaczono wskaźniki jednostkowej emisji CO₂ dla następujących przypadków:

- ✧ węgiel brunatny wydobywany metodą odkrywkową i transportowany do zakładu zgazowania węgla taśmociągiem na odległość 10 km: wskaźnik emisji wynosi odpowiednio 42,13 kg CO₂/Mg węgla oraz 5,15 kg CO₂/GJ energii zawartej w węglu;
- ✧ węgiel kamienny energetyczny wydobywany w jednej z kopalń górnośląskich transportowany do zakładu zgazowania węgla koleją na odległość 100 km: wskaźnik emisji wynosi odpowiednio 43,93 kg CO₂/Mg węgla oraz 2,34 kg CO₂/GJ energii zawartej w węglu;
- ✧ węgiel kamienny energetyczny wydobywany w jednej z kopalń górnośląskich transportowany do zakładu zgazowania węgla taśmociągiem na odległość 10 km: wskaźnik emisji wynosi odpowiednio 41,53 kg CO₂/Mg węgla oraz 2,13 kg CO₂/GJ energii zawartej w węglu;
- ✧ węgiel kamienny koksowy wydobywany w zespole kopalń C i transportowany do krajowych koksowni koleją na odległość 100 km: wskaźnik emisji wynosi odpowiednio 94,61 kg CO₂/Mg węgla oraz 3,88 kg CO₂/GJ energii zawartej w węglu.

Publikacja powstała w ramach projektu: N N524 2088 33.

Literatura

- BIAŁAS M., PASZCZA H., 2007 – Znaczenie tradycyjnych nośników energii dla polityki energetycznej Unii Europejskiej w kontekście zapobiegania zmianom klimatycznym. *Polityka Energetyczna* t. 10, z. spec. 1, s. 117–134.
- Charakterystyki energo-ekonomiczne działów i grup przemysłu – Wyd. Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa 2005.
- Czysta energia – produkty chemiczne i paliwa z węgla. Red. T. Borowiecki, J. Kijeński, J. Machnikowski i M. Ściążko, Wyd. IChPW, Zabrze 2008.
- DRESZER K., WIĘCŁAW-SOLNY L., 2007 – Zgazowanie węgla i synteza paliw silnikowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 23, z. spec. 3, s. 93–104.
- GARDZIŃSKI W., MOLENDĄ J., 2005 – Źródła i wykorzystanie wodoru w rafineriach ropy naftowej. *Przemysł Chemiczny* t. 84 (11), s. 825–829.
- GAWLIK L., GRUDZIŃSKI Z., 2007 – Zasoby węgla brunatnego w Polsce. *Karbo* t. 52 (2), s. 73–76.
- GAWLIK L., MOKRZYCKI E., NEY R., 2007 – Możliwości poprawy akceptowalności węgla jako nośnika energii. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 23, z. spec. 3, s. 105–118.
- GRZYBEK R., GROCHOWSKI L., 2005 – Wodór w Zakładach Azotowych w Kędzierzynie S.A. *Przemysł Chemiczny* t. 84 (11), s. 820–824.
- HIGMAN C., van der BURGT M., 2008 – *Gasification*. Wyd. Elsevier.
- KARCZ A., TRAMER A., 2003 – Wykorzystanie gazu koksowniczego w syntezie chemicznej. [W:] *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*. Red. M. Ściążko i H. Zieliński, Wyd. IChPW i IGSMiE PAN, Zabrze–Kraków, s. 125–144.

- KARCZ A., SOBOLEWSKI A., STOMPEL Z., 2006 – Perspektywy zagospodarowania gazu koksowniczego i przerobu węglpochodnych. *Karbo* t. 51 (wyd. specjalne), s. 38–44.
- KASZTELEWICZ Z., 2004 – Rola węgla brunatnego w gospodarce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 20, z. spec. 3, s. 155–164.
- KASZTELEWICZ Z., KOZIOŁ W., KOZIOŁ K., KLICH J., 2007 – Energetyka na węglu brunatnym – perspektywy rozwoju. *Polityka Energetyczna* t. 10, z. spec. 1, s. 163–183.
- KASZTELEWICZ Z., 2008 – Branża węgla brunatnego w Polsce. *Nowa Energia* t. 1 (1), s. 46–52.
- KICKI J., SOBCZYK E.J., 2007 – Węgiel kamienny jako podstawowy nośnik energetyczny w Polsce z perspektywy bazy surowcowej. *Polityka Energetyczna* t. 10, z. spec. 1, s. 147–162.
- KIJEŃSKI J., 2005 – Dlaczego wodór? *Przemysł Chemiczny* t. 54 (11), s. 799–807.
- KOWALCZYK J., STRZELEC G., 2004 – Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. – jakość produkcji i technologia wzbogacania węgla. *Inżynieria Mineralna* t. 5 (2), s. 28–44.
- KREITH F., 2004 – Fallacies of a Hydrogen Economy: A Critical Analysis of Hydrogen Production and Utilization. *Journal of Energy Resources Technology* t. 126, s. 249–257.
- MARZEC A., 2004 – Paliwo wodorowe a efekt cieplarniany. [W:] *Paliwa i Energia XXI wieku*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, s. 333–335.
- MARZEC A., 2007 – Energetyka wodorowa – co to oznacza dla roli węgla? *Karbo* t. 52 (2), s. 109–111.
- Model ekologicznego i ekonomicznego prognozowania wydobycia i użytkowania czystego węgla. Tom 2: Ekoefektywność technologii czystego spalania węgla. Red. K. Czaplicka i M. Ściążko, Wyd. GIG, Katowice 2004.
- MOORE T.A., PEARCE S., 2006 – Hydrogen from coal. *International Journal of Coal Geology* vol. 65, s. 171–172.
- NYCZ R., ZIELEŻNY A., 2004 – Kompania Węglowa S.A. – technologia wzbogacania węgla i jakość produkcji. *Inżynieria Mineralna* t. 5 (2), s. 2–19.
- REZAIYAN J., CHEREMISINOFF N.P., 2005 – *Gasification Technologies*. Wyd. Taylor & Francis Group.
- SEATAC: Guidelines for Life Cycle Assessment – A Code of Practice; Wyd. SEATEC – Brochure, Brussels 1993.
- SROGI K., 2000 – Wodór – paliwo przyszłości. *Karbo* t. 45 (2), s. 65–76.
- SURYGAŁA J., 2006 – Obecne i perspektywiczne metody otrzymywania wodoru. *Przemysł chemiczny* t. 85 (8–9), s. 661–668.
- ŚCIAŻKO M., 2007 – Nowe szanse technologii węglowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 23, z. spec. 3, s. 221–233.
- TRAMER A., ŚCIAŻKO M., KARCZ A., 2005 – Techniczne aspekty wykorzystania gazu koksowniczego do pozyskania wodoru. *Przemysł chemiczny* t. 84 (11), s. 815–820.
- Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context; STOA Workshop: The Future of European Long Distance Transport EP 28/03/2007; A Joint Study by EUCAR/Joint Research Centre of the European Commission/CONCAWE.
- ZARĘBSKA K., PERNAK-MIŚKO K., 2007 – Zgazowanie węgla – perspektywa dla gospodarki wodorowej. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 23, z. spec. 3, s. 243–256.
- ZAGÓROWSKI J., CZORNIK G., KOWALCZYK J., 2008 – Perspektywy węgla koksowego. *Karbo* t. 53, wyd. spec., s. 17–26.
- ŻYŁA M., KREINER K., 2007 – Wykorzystanie energii ze złóż naturalnych paliw węglowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 23, z. spec. 3, s. 257–264.

Evaluation of CO₂ emission connected with mining, preparation and transport of coal – a potential raw material for hydrogen production

Abstract

Among methods of hydrogen production which are important in Polish conditions one should mention hard and brown coal gasification as well as hydrogen recovery from industrial gas formed at coke plants. In the context of prevention of climate changes, which will have to take place in the near future, it is important to determine the impact of the above-mentioned technologies of hydrogen production and the kind of the coal raw material applied on the emission of carbon dioxide to the atmosphere. Establishing this impact requires an analysis of the complete cycle of hydrogen acquisition, from coal extraction for hydrogen production to processes of coal gasification/coking.

The paper presents an evaluation of CO₂ emission connected with the initial links of the chain of hydrogen life cycle, i.e. extraction and mechanical processing of various coal raw materials as well as their transport to the gasification/coking plant. The analysis concerns the following types of coal:

- ✧ brown coal acquired by open-cut mining and transported to the gasification plant by a belt conveyor flight,
- ✧ steam coal extracted in one of the Upper-Silesian coal mines transported to the gasification plant by rail,
- ✧ steam coal extracted in one of the Upper-Silesian coal mines transported to the gasification plant by a belt conveyor flight,
- ✧ coking coal extracted in the group of coking coal mines and transported to domestic coke plants by rail.

The method applied by the authors for establishing the factors of CO₂ emission connected with extracting, mechanical processing and transport both, for brown coal and hard coals involved gathering and analysing data and information concerning the net consumption of particular forms of energy in the above-mentioned operations. The knowledge of the CO₂ emission factors connected with producing a unit of heat and electric energy enabled determination of CO₂ emission factors in relation to 1 Mg of the coal raw material as well as to 1 GJ of energy contained in it. The relevant information and production data had been obtained from the domestic coal producers.

The paper discusses the results of calculations aimed at determining the above-mentioned factors. It offers a comparison of their values for the examined cases of mining, cleaning and transport of coal, and presents the structure of CO₂ emission connected with the examined operations.

KEY WORDS: hydrogen, CO₂ emission, coal gasification and coking process, coal mining, coal preparation, coal transport