



Renata PATYŃSKA*

Identyfikacja i ocena emisji metanu z kopalń węgla kamiennego w Polsce

Streszczenie: Procedura inwentaryzacji emisji metanu z kopalń węgla kamiennego (czynnych i opuszczonych), polegała na identyfikacji źródeł jego wydzielania oraz aktualizacji metod obliczeniowych, dostosowanych do parametrów węgla kamiennego polskich kopalń GZW. Zmodyfikowana metoda określona w wytycznych IPCC (2006) mianem metody specyficznej dla poszczególnych kopalń, uwzględniła wyniki rzeczywistych pomiarów metanonośności pokładów węgla oraz metanowości kopalń. Wskaźnik emisji metanu (EF) obliczono na podstawie wydobycia wyłącznie z kopalń metanowych. Wyróżnione cztery źródła emisji metanu szacowano w sposób niezależny. Wprawdzie zalecenia IPCC nie przewidują szacowania emisji metanu w procesach powydobywczych metodą specyficzną dla kopalń (zalecana jest bowiem metoda średnich krajowych), jednakże korzystając z dostępnych danych obliczono emisję metanu w procesach poeksploatacyjnych oraz emisję powierzchniową, wykorzystując podejście według tzw. metody specyficznej dla Zagłębia Węglowego. W obliczeniach emisji powierzchniowej wykorzystano dane wielkości produkcji odpadów pogórnich ogółem, na podstawie których oszacowano ilość odpadów z kopalń metanowych w danym roku. W wyniku szczegółowych analiz metanowości oraz inwentaryzacji i szacowania emisji metanu z węgla kamiennego wydobywanego z kopalń metanowych w Polsce w latach 2001–2010, uzyskano równanie wskaźnika emisji metanu EF. W wyniku oszacowania wskaźników emisji oraz wielkości emisji metanu z węgla kamiennego można było dokonać właściwej oceny uzyskanych danych na tle dotychczasowych szacunków wykonanych w kraju jak i w ujęciu globalnych statystyk.

Słowa kluczowe: górnictwo, węgiel kamienny, metoda szacowania emisji metanu, ocena emisji metanu

Of methane emissions from coal mines in Poland

Abstract: This paper addresses the procedure for carrying out an inventory of methane emissions using the methods proposed in the IPCC Guidelines (2006) for estimation of methane emissions from coal mines (active and abandoned). The text identifies and updates the calculation methods, adjusting them to the collected parameters of Polish coal mines of the USCB (Upper Silesian Coal Basin). The method specified in the

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice; e-mail: rpatynska@gig.eu

IPCC Guidelines as specific to individual mines was modified by taking into account the results of actual measurements of methane and coal mine methane.

The methane emission factor (EF) is calculated based only on methane coal mine output. This analysis featured four sources of methane emissions that were estimated in an independent manner. The recommendations of the IPCC do not estimate methane emissions in the extraction process for individual mines, recommending instead a national method of estimation using the available data. For this study, methane emissions were calculated from void and surface emissions, using an approach based on the so-called specific methods for the Upper Silesian Coal Basin. In the calculation of the surface emission data for mining waste production, the analysis used volumes in total, based on the estimated quantities of annual methane waste from the mines.

As a result of estimates of emission factors and the emission of methane from coal mines, it was possible to make a proper assessment of the collected data in comparison with previous estimates made in Poland and in terms of global statistics.

Key words: coal mine, methane emission, methodology of estimation of methane emissions, assessment of methane emissions

Wprowadzenie

Z publikacji [4, 6] związanych z emisją metanu w Polsce wynika, że w 2009 roku wydano *Raport Krajowej Inwentaryzacji Emisji i Pochłaniania gazów cieplarnianych za rok 2007* (KCIE) sporządzony celem wypełnienia zobowiązań Polski zgodnych z wymaganiami Protokołu z Kioto, jak również na potrzeby Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz jej Protokołu z Kioto. Informacje zawarte w Raporcie KCIE [4] zostały przygotowane zgodnie ze zaktualizowanymi wytycznymi: „Guidelines for the Preparation of National Communications by Parties included in Annex I to the Convention,” które oparto na pracach International Panel on Climate Change (IPCC) [3].

Raport (KCIE) [4] przedstawia wyniki krajowej inwentaryzacji emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych (GC) w Polsce z roku 2007. Inwentaryzacja ta objęła gazy cieplarniane w tym m.in. metan. Z raportu wynika, że brak jest danych szczegółowych dotyczących wskaźników emisji metanu z kopalń węgla kamiennego dla polskiego górnictwa po roku 2003. W związku z tym, przygotowano i obliczono szczegółowo, rzeczywiste emisje metanu z kopalń metanowych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) w Polsce w latach 2001–2010.

Procesy technologiczne węgla kamiennego, w których zachodzi zjawisko emisji metanu podzielono na:

- procesy eksploatacji węgla, gdzie zachodzi emisja wentylacyjna oraz emisja z systemów odmetanowania,
- procesy poeksploatacyjne, w tym przeróbka, składowanie, transport oraz zwałowanie na składowiskach pogórnich.

Opracowanie krajowej metody szacowania metanu z kopalń, zdeterminował zakres danych niezbędnych do jej zastosowania, spośród których przyjęto za podstawę obliczeń: wielkość wydobycia węgla z poszczególnych kopalń oraz ich metanowość. Dane te były dostępne i opublikowane w Raportach rocznych z lat 2002–2012 [18]. W rozdziale dotyczącym *Zagrożenia gazowego* zamieszczono m.in. dane dotyczące wydobycia węgla kamiennego, metanowości bezwzględnej, odmetanowania oraz zagospodarowania metanu z kopalń GZW w Polsce w latach 2001–2011, które świadczą o spadku liczby kopalń i spadku wydobycia. W każdym z analizowanych lat wyodrębniono wielkość wydobycia

z kopalń zakwalifikowanych jako metanowe. Z danych tych wynika, że w latach 2001–2011 wydobyte oraz liczba funkcjonujących kopalń w polskim górnictwie węgla kamiennego uległy znacznemu zmniejszeniu. Wydobyte węgla ze 102,78 mln ton ograniczono do 75,07 mln ton. Eksploatacja pokładów realizowana w 43 zakładach górniczych w roku 2001, na skutek likwidacji oraz połączenia kopalń, w roku 2011 dotyczyła 30 kopalń. Liczba 30 kopalń metanowych w roku 2001, w których wydobywano węgiel na poziomie 72,37 mln ton, w roku 2011 wynosiła 21 kopalń, produkujących 52,03 mln ton węgla.

W tabeli 1 zestawiono wielkości wydobywania i ilości wydzielanego metanu z wyszczególnieniem liczby kopalń. Należy nadmienić, że w analizowanych latach 2001–2011 w polskim górnictwie węglowym zlikwidowano jedną kopalnię KWK Niwka-Modrzejów sp. z o.o., pomimo tego pomiary emisji wentylacyjnej metanu wykonywano do roku 2002. Wyniki pomiarów z lat 2001–2002 uwzględniono w obliczeniach rocznych oraz w zestawieniach zbiorczych oszacowanych emisji metanu.

Dane w tabeli 1 pozwalają na stwierdzenie, że pomimo spadku produkcji węgla oraz malejącej liczby kopalń w GZW w Polsce wentylacyjna emisja metanu z procesów eksploatacji węgla w kopalniach metanowych od roku 2001 do 2010 wzrosła o około 50 m³/tonę.

TABELA 1. Liczba kopalń (czynnych i zlikwidowanych) i metanowość węgla kamiennego w Polsce w latach 2001–2011

TABLE 1. Collecting and organization of data on methane emission in hard coal mines (active and abandoned) in Poland from last 10 years (2001–2011)

Rok	Liczba kopalń węgla kamiennego	Wydobycie ogółem [mln ton]	Liczba kopalń metanowych	Wydobycie z kopalń metanowych [mln t]	Metanowość względna wentylacyjna [m ³ /t]	Metanowość względna systemów odmetanowania [m ³ /t]	Metanowość względna strat odmetanowania [m ³ /t]	Metanowość bezwzględna z kopalń zlikwidowanych [mln m ³ /rok]
2001	43	102,78	30	72,37	300,22	82,74	30,71	0,91
2002	42	102,07	30	72,13	304,08	78,11	30,91	0,73
2003	41	100,41	29	65,71	345,69	92,08	40,57	–
2004	41	99,17	29	69,17	320,26	91,14	38,41	–
2005	35	97,17	24	67,35	287,98	87,57	37,23	–
2006	31	94,27	24	64,52	305,62	NA	NA	–
2007	31	87,40	23	62,47	325,56	101,33	38,20	–
2008	29	83,40	23	57,54	361,11	116,40	51,15	–
2009	30	77,27	23	53,27	385,35	120,09	43,18	–
2010	29	76,15	21	52,18	350,78	110,82	38,58	–
2011	30	75,07	21	52,03	326,19	106,27	29,21	–

1. Metoda szacowania emisji metanu

Metoda szacowania emisji metanu z kopalń węgla kamiennego w Polsce została szeroko opisana w Zadaniu 1.4 projektu: *Low carbon mine site energy initiatives* realizowanego w GIG w latach 2010–2013 (*RFCR-CT-2010-00004*) [15]. Opierając się na zaleceniach IPCC 2006 [3] oraz Raporcie KCIE [4] zmodyfikowano polską metodę obliczania emisji metanu, dzięki czemu udało się precyzyjnie oszacować zarówno emisje metanu jak i wskaźniki emisji dla górnictwa polskiego [14]. Poniżej syntetycznie opisano metodologię szacowania emisji metanu w kopalniach polskich w latach 2001–2011, z poszczególnych zidentyfikowanych jego źródeł wydzielania. Emisji wentylacyjnych z kopalń niemietanowych nie szacowano. Inwentaryzacja emisji metanu wykazała, że eksploatacja węgla kamiennego z kopalń metanowych generuje metan z czterech źródeł. Na tej podstawie dokonano podziału emisji metanu pochodzącego:

- z procesów wydobycia węgla:
 - emisja wentylacyjna,
 - emisja z układów odgazowania;
- z procesów powydobywczych:
 - emisja z procesów poeksploatacyjnych,
 - emisja z odpadów produkcyjnych.

Obliczenia prowadzono w sposób niezależny.

Emisję wentylacyjną E_w (m^3) dla poszczególnych kopalń obliczono na podstawie wzoru:

$$E_w = W_e \cdot Q \quad (1)$$

gdzie:

- Q – wydobycie węgla z kopalń metanowych [t],
- W_e – wskaźnik emisji wentylacyjnej [m^3 CH₄ /t węgla].

Ilość metanu z tego źródła (E_w) oceniono na podstawie danych udostępnionych przez poszczególne kopalnie węgla kamiennego i zestawionych w Raportach rocznych [18]. Ostateczną wartość emisji wentylacyjnej oraz emisji metanu z układów odmetanowania przeliczono na warunki standardowe (293°K) za pomocą wzoru:

$$E_{w(N)} = E_w \cdot 293 / (273 + t_p) \quad (2)$$

gdzie:

- $E_{w(N)}$ – emisja wentylacyjna przeliczona na warunki standardowe (20°C), [mln m^3],
- E_w – emisja wentylacyjna [mln m^3],
- $t_p=30$ – średnioroczna temperatura powietrza wentylacyjnego [°C].

Należy dodać, że wskaźnik emisji wyraża objętość metanu uwalnianego do atmosfery, przypadającego na jednostkę masy (tonę) wyeksploatowanego węgla. Z uwagi na wymogi sprawozdawczości objętość metanu przeliczono na jednostkę masy z zastosowaniem współczynnika konwersji 0,67 t/mln m^3 [3].

Szacunek emisji metanu z układów odmetanowania – dotyczył określenia wartości emisji strat ujętego metanu, przyjętych na podstawie pomiarów wykonywanych przez kopalnie. Ilość metanu z tego źródła przyjmowano na podstawie danych podawanych w Raportach rocznych [18].

Emisję z układów odmetanowania (E_o) każdej z kopalń, w której prowadzono odmetanowanie, obliczono jako różnicę ilości metanu ujętego (M_{ui}) i ilości metanu wykorzystanego (M_{wi}) (lub spalonego) według wzoru:

$$E_o = M_{ui} - M_{wi} \quad [\text{mln m}^3 \text{ CH}_4] \quad (3)$$

Wprawdzie zalecenia IPCC 2006 [3] nie przewidują szacowania emisji metanu w procesach powydobywczych metodą specyficzną dla kopalń, ponieważ zalecana jest metoda średnich krajowych, jednakże korzystając z danych w Raportach rocznych oraz Rocznikach Statystycznych i z Ochrony Środowiska [7, 16, 17, 18], obliczono emisję metanu w procesach poeksploatacyjnych oraz emisję powierzchniową (z odpadów produkcyjnych) w latach 2001–2011 w Polsce, wykorzystując podejście według metody specyficznej dla GZW. W obliczeniach emisji powierzchniowej wykorzystano dane dotyczące produkcji odpadów pogórnich ogółem z kopalń węglowych w danym roku, które stanowiły podstawę szacunków ilości odpadów z kopalń metanowych.

Emisję metanu z wydobytego węgla w procesach powydobywczych oszacowano oddzielnie dla każdej kopalni w każdym analizowanym roku.

Metan emitowany w procesach powydobywczych oszacowano przy założeniu, że wydzielanie zachodzi na powierzchni i dotyczy wyłącznie metanu reszkowego, przy czym wartość metanonośności reszkowej w poszczególnych kopalniach przyjęto na podstawie danych z pracy Kwarcińskiego [5]. W zależności od wzajemnych relacji średniej metanonośności danego pokładu węgla (G_{pk} , $\text{m}^3/\text{t csw}$) i wartości metanonośności reszkowej (G_r , $\text{m}^3/\text{t csw}$) uwzględniono następujące założenia:

- w pokładach (lub częściach pokładu), w których średnia metanonośność danego pokładu węgla (G_{pk} , $\text{m}^3/\text{t csw}$) jest wyższa lub równa metanonośności reszkowej (G_r , $\text{m}^3/\text{t csw}$), ilość emitowanego w procesach powierzchniowych metanu (e_{pko} , m^3) oblicza się według wzoru:

$$e_{pko} = M_w \cdot (100 - W - A)/100 \cdot G_r \quad (4)$$

gdzie:

- M_w – masa wydobytego węgla [mln t],
- W – średnia zawartość wilgoci całkowitej [%],
- A – średnia zawartość popiołu [%];

- w pokładach (częściach pokładu), w których średnia metanonośność danego pokładu węgla (G_{pk} , $\text{m}^3/\text{t csw}$) jest mniejsza od metanonośności reszkowej (G_r , $\text{m}^3/\text{t csw}$), ilość emitowanego w procesach powierzchniowych metanu (e_{pkl} , m^3) obliczono według wzoru:

$$e_{pkl} = M_w \cdot (100 - W - A)/100 \cdot G_{pk} \quad (5)$$

Emisję metanu w procesach powydobywczych oszacowano na podstawie doświadczalnie uzyskanej zależności emisji metanu z prób węgla, w odniesieniu do średniej metanonośności eksploatowanego pokładu. Zależność ta zakłada, zgodnie z wynikami badań [5], że z jednej strony możliwe jest wydobycie na powierzchnię węgla, w którym nadal zawarty jest metan desorbowlany dynamicznie, z drugiej strony głębsze odgazowanie węgla poniżej wartości metanonośności resztkowej następuje w wyrobiskach podziemnych, a niepełne wydzielenie metanu resztkowego zachodzi na powierzchni. Wielkość emisji metanu z analizowanego pokładu (e_{pkn}) wynosi:

$$e_{pkn} = M_w \cdot (100 - W - A)/100 \cdot (0,2144177 \cdot G_{pk}) \quad (6)$$

Ostateczna szacowana wielkość emisji metanu z eksploatowanego pokładu (części pokładu) węgla (e_{pk}) jest definiowana przez średnią arytmetyczną tych dwóch wyników.

$$e_{pk} = (e_{pko} + e_{pkn})/2 \quad (7)$$

Emisja metanu z całej kopalni (E_{pk}) jest sumą emisji z poszczególnych pokładów węgla (części pokładów), natomiast wskaźnik emisji z węgla w procesach powydobywczych (W_{ep}) dla poszczególnych kopalń obliczono ze wzoru:

$$W_{ep} = \Sigma [E_{pk}/Q] \quad (8)$$

Szacunek emisji ze zwałowisk odpadów produkcyjnych przeprowadzono, uwzględniając roczną ilość odpadów produkcyjnych oraz przyjmując za Kwarciańskim [5] metanonośność substancji organicznej oraz średnią zawartość substancji węglowej w odpadach produkcyjnych wynoszącą 15%.

Odpady produkcyjne wydobywane podczas eksploatacji węgla kamiennego z kopalń metanowych oraz powstające podczas procesów przeróbki i wzbogacania zawierają również substancję węglową. Analogicznie jak w odniesieniu do emisji metanu z węgla w procesach powydobywczych procedura szacowania emisji z odpadów produkcyjnych dotyczy metanu zawartego w substancji węglowej. Metan zawarty w porach (lub spękaniach skał płonnych) w postaci gazu wolnego oraz większość metanu sorbowanego wydzielili się do wyrobisk górniczych na dole kopalni i jest składnikiem emisji wentylacyjnej.

Ocena ilości metanu emitowanego z odpadów produkcyjnych (E_{eso}) w metanowych kopalniach węgla kamiennego jest wynikiem zależności:

$$E_{eso} = S_o \cdot B \cdot W_{ep} \quad (9)$$

gdzie:

- E_{eso} – ilość (objętość) metanu emitowanego z odpadów produkcyjnych [mln m³],
- S_o – masa wytworzonych odpadów mineralnych [mln t/rok],
- B – udział substancji węglowej (węgla) w odpadach [% wag.],
- W_{ep} – wskaźnik emisji z węgla w procesach powydobywczych [m³/ t csw].

Reasumując powyższe, należy nadmienić, że zarówno dane wejściowe: wydobywanie węgla, wartości metanowości, metanonośności w poszczególnych kopalniach jak

i dane ilości odpadów pogórnicznych w poszczególnych latach, pochodzą z wiarygodnych źródeł [7, 17, 18].

2. Emisja metanu z węgla kamiennego kopalń GZW w latach 2001–2011

Na podstawie zaproponowanej zmodyfikowanej metody szacowania emisji metanu z metanowych kopalń węgla kamiennego GZW, obliczono i zestawiono wielkość wydobycia oraz emisję metanu z poszczególnych ich źródeł. W rezultacie uzyskano wartości emisji oraz wskaźników emisji metanu dla górnictwa polskiego w latach 2001–2011 [11, 15]. Identyfikacja emisji metanu wykazała, że wydobycie węgla kamiennego generuje metan z czterech źródeł. Na tej podstawie oszacowano emisje: wentylacyjną, z układów odgazowania, z procesów powydobywczych, z odpadów produkcyjnych i uzyskano sumaryczną emisję dla górnictwa węgla kamiennego w roku (tab. 2).

TABELA 2. Zestawienie wydobycia i emisji metanu z metanowych kopalń węgla kamiennego w Polsce w latach 2001–2011

TABLE 2. Estimations of methane emissions from the hard coal system in Polish mines in the years 2001–2011

Rok	Rodzaj emisji	Wydobycie kopalń metanowych	Emisja metanu w warunkach standardowych	Średni wskaźnik emisji	Emisja metanu
		mln t	mln Nm ³	m ³ CH ₄ /t	Gg
1	2	3	4	5	6
2001	Emisja wentylacyjna	72,366	515,314	7,010	345,260
	Emisja z układów odgazowania		85,185	0,990	57,074
	Emisja z procesów powydobywczych		43,379	0,590	29,064
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		2,193	0,030	1,469
	Razem górnictwo węgla kamiennego		646,071	8,620	432,867
2002	Emisja wentylacyjna	72,129	538,660	7,284	360,902
	Emisja z układów odgazowania		82,894	0,996	55,539
	Emisja z procesów powydobywczych		43,092	0,590	28,872
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		2,016	0,028	1,350
	Razem górnictwo węgla kamiennego		666,662	8,898	446,663
2003	Emisja wentylacyjna	65,708	548,487	8,457	367,486
	Emisja z układów odgazowania		96,612	1,353	64,730
	Emisja z procesów powydobywczych		40,641	0,606	27,229
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		1,928	0,029	1,292
	Razem górnictwo węgla kamiennego		687,669	10,445	460,738

TABELA 2. cd.

TABLE 2. cont.

1	2	3	4	5	6
2004	Emisja wentylacyjna	69,167	556,020	7,640	372,534
	Emisja z układów odgazowania		102,569	1,281	68,721
	Emisja z procesów powydobywczych		42,392	0,601	28,402
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		2,096	0,030	1,404
	Razem górnictwo węgla kamiennego		703,076	9,552	471,061
2005	Emisja wentylacyjna	67,347	576,200	8,075	386,054
	Emisja z układów odgazowania		107,446	1,500	71,989
	Emisja z procesów powydobywczych		40,958	0,601	27,442
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		2,004	0,030	1,342
	Razem górnictwo węgla kamiennego		726,607	10,206	486,827
2006	Emisja wentylacyjna	64,518	537,592	8,332	360,187
	Emisja z układów odgazowania		126,870	1,966	85,003
	Emisja z procesów powydobywczych		37,022	0,577	24,805
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		1,890	0,029	1,266
	Razem górnictwo węgla kamiennego		703,374	10,904	471,261
2007	Emisja wentylacyjna	62,465	590,090	9,427	395,361
	Emisja z układów odgazowania		99,630	1,637	66,752
	Emisja z procesów powydobywczych		35,867	0,586	24,031
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		2,000	0,032	1,340
	Razem górnictwo węgla kamiennego		727,587	11,682	487,483
2008	Emisja wentylacyjna	57,537	586,677	10,288	393,074
	Emisja z układów odgazowania		113,816	2,137	76,256
	Emisja z procesów powydobywczych		33,123	0,586	22,192
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		1,589	0,028	1,064
	Razem górnictwo węgla kamiennego		735,204	13,039	492,586
2009	Emisja wentylacyjna	53,271	576,243	11,150	386,083
	Emisja z układów odgazowania		96,990	1,815	64,983
	Emisja z procesów powydobywczych		29,945	0,586	20,063
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		1,463	0,027	0,980
	Razem górnictwo węgla kamiennego		704,641	13,579	472,109

TABELA 2. cd.

TABLE 2. cont.

1	2	3	4	5	6
2010	Emisja wentylacyjna	52,184	559,852	11,050	375,101
	Emisja z układów odgazowania		91,671	1,777	61,420
	Emisja z procesów powydobywczych		29,413	0,579	19,707
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		1,566	0,030	1,049
	Razem górnictwo węgla kamiennego		682,503	13,435	457,277
2011	Emisja wentylacyjna	52,030	559,524	10,127	374,881
	Emisja z układów odgazowania		65,330	1,345	43,771
	Emisja z procesów powydobywczych		29,116	0,546	19,508
	Emisja ze zwałowiska odpadów produkcyjnych		1,411	0,027	0,945
	Razem górnictwo węgla kamiennego		655,381	12,045	439,106

Na rysunku 1 zobrazowano sumaryczny rozkład wskaźników emisji metanu na tle wydobywania z kopalń metanowych, który wykazuje trend zgodny z rozkładem funkcji wielomianowej o dopasowaniu wynoszącym $R^2 = 0,93$. Rezultat zastosowanej metody szacowania emisji metanu dla polskich metanowych kopalń węgla kamiennego to równanie wskaźnika emisji metanu EF w postaci:

$$EF = -0,0081 \cdot Q^2 + 0,79 \cdot Q - 5,9419 \quad (10)$$

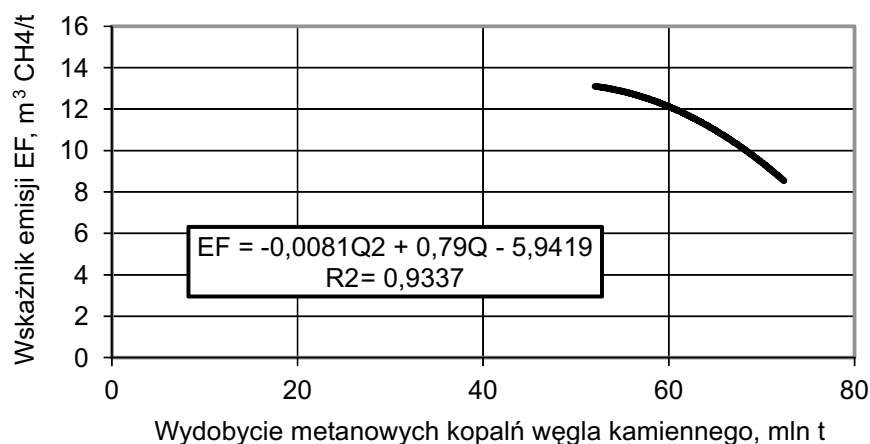
gdzie:

EF – wskaźnik emisji metanu [m^3/ton],

Q – wydobywanie kopalń metanowych węgla kamiennego w Polsce [mln ton].

Analizując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że pomimo spadku wydobywania węgla w latach 2001–2011, od roku 2008 średni wskaźnik emisji z systemu węgla kamiennego utrzymuje się na stałym poziomie około $13 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$. Uzyskane sumaryczne wyniki obliczeń emisji metanu (dla czterech źródeł) mieszczą się w granicach 434–492 Gg, przy czym po roku 2008 widać wyraźnie malejącą tendencję emisji metanu polskiego górnictwa węglowego, która wynikała m.in. ze wzrostu zagospodarowanego metanu w wyniku odmetanowania kopalń i spadku wydobywania ogółem [9, 10].

Na podstawie uzyskanych wyników oraz opierając się na wytycznych IPCC 2006 [3] określono także niepewność szacowania emisji metanu z poszczególnych jego źródeł. Zestawione w tabeli 2 wielkości wydobywania ogółem oraz wydobywania z kopalń metanowych węgla kamiennego stanowiły podstawę procedury analizy niepewności oszacowanych wskaźników emisji metanu. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujący wniosek: przyjmując do analiz wydobywanie z kopalń metanowych, średnia niepewność szacowania aktywności emisji metanu zmniejszyła się o około 29,40% [8].



Rys. 1. Rozkład wskaźnika emisji metanu EF na tle wielkości wydobycia Q z metanowych kopalń węgla kamiennego w Polsce w latach 2001–2011

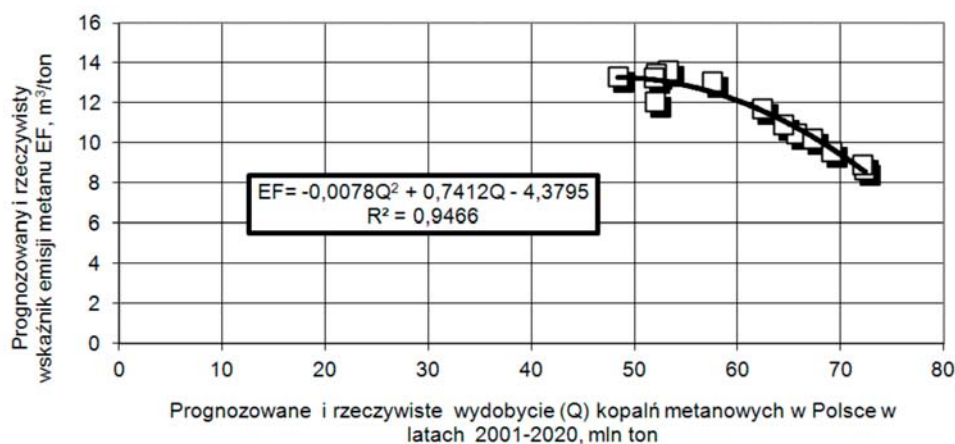
Fig. 1. Distribution of mining methane emission factors from methane hard coal mines in the years 2001–2011

3. Prognoza emisji metanu

Dzięki funkcji $EF = f(Q)$ (10), będącej zależnością wydobycia kopalń metanowych węgla kamiennego i ich emisji oraz wskaźników tych emisji, możliwa staje się prognoza emisji metanu w kolejnych latach eksploatacji kopalń GZW w Polsce [13].

Na podstawie zależności $EF = f(Q)$ (10) sporządzono prognozy wskaźników emisji metanu na lata 2012–2020 [13]. W tym celu w pierwszym podejściu wykonano prognozę rozkładu wielkości wydobycia ogółem w kopalniach węgla kamiennego w Polsce oraz wydobycia z kopalń metanowych. Zgodnie z uzyskanym rozkładem przyjęto spadek wielkości wydobycia ogółem w górnictwie polskim, wynoszący w roku 2015 – 75 mln ton oraz w roku 2020 – 70 mln ton. Przy takim założeniu wykazano, że wraz ze spadkiem wydobycia ogółem wielkość wydobycia z kopalń metanowych również ulegnie zmniejszeniu. Wydobycie z kopalń metanowych w roku 2015 wynosić może około 51 mln ton, a w roku 2020 około 48 mln ton.

Prognoza wydobycia polskich kopalń węgla kamiennego wraz z równaniem $EF = f(Q)$ (10) rozkładu wskaźników emisji metanu w kopalniach metanowych, pozwoliły na określenie wskaźników emisji metanu na lata 2012–2020. Rysunek 2 obrazuje zarówno rozkład rzeczywistych (w latach 2001–2011) jak i prognozowanych (na lata 2012–2020) wartości wskaźników emisji metanu. Przyjmując prognostyczną wielkość wydobycia z kopalń metanowych węgla kamiennego w Polsce w roku 2020 na poziomie około 48 mln ton, uzyskano prognostyczny wskaźnik emisji metanu wynoszący $13,3 \text{ m}^3/\text{tonę}$. Uzyskane prognozy wskazują utrzymanie stałej wartości emisji metanu w kolejnych latach, pomimo spadku wydobycia ogółem.



Rys. 2. Rozkład wskaźnika emisji metanu z procesów górniczych i pogórnich w metanowych kopalniach węgla kamiennego w Polsce w latach 2001–2020

Fig. 2. Distribution of mining methane emission factor for mining and post-mining processes in methane hard coal mines in Poland in the years 2001–2020

4. Ocena stanu emisji metanu z kopalń węgla kamiennego na tle globalnych statystyk

Konfrontując wartości obliczonych wskaźników emisji metanu z podanymi w wytycznych IPCC w 1. Metodzie średnich światowych należy stwierdzić, że polskie górnictwo charakteryzują niskie wskaźniki emisji metanu w porównaniu do średnich światowych. Wytyczne IPCC podają przedziały wskaźników emisji wentylacyjnych mieszczące się w granicach 10–20 m³CH₄/t (niski < 10 m³CH₄/t, średni około 18 m³CH₄/t; wysoki > 25 m³CH₄/t; oraz wskaźników emisji pogórnich 0,9–4,0 m³CH₄/t (niski < 0,9 m³CH₄/t, średni około 2,5 m³CH₄/t; wysoki > 4,0 m³CH₄/t). Wskaźniki emisji wentylacyjnej polskich metanowych kopalń węgla kamiennego kształtują się na poziomie 7,01–11,05 m³CH₄/t, natomiast sumy wskaźników z procesów poeksploatacyjnych wynoszą około 0,6 m³CH₄/t [9].

Wartość i poziom oszacowanych emisji metanu z węgla kamiennego metanowych kopalń pozwalają także na analizy dotyczące założeń przyjętych w Protokole z Kioto, której podstawowym kryterium jest redukcja emisji gazów cieplarnianych o przynajmniej 5% poniżej poziomu z 1990 r. w okresie zobowiązań 2008–2012. Z analiz wynika, że w latach 2008–2011, polskie górnictwo emitowało o około 42% mniej metanu aniżeli w roku 1990 (800 Gg) [2], a to oznacza, że Polska wypełnia przyjęte zobowiązania w zakresie redukcji emisji metanu z metanowych kopalń węgla kamiennego GZW. Korzyści wynikające z działań zmierzających do osiągnięcia efektów przyjaznych dla środowiska spowodowały spadek emisji metanu z procesów odmetanowania, pomimo wzrostu metanowości bezwzględnej kopalń. W latach 2008–2011 obserwuje się stałą tendencję spadkową emisji metanu wynoszącą około 11% [12].

W ramach realizacji projektu LowCarb [15], w roku 2011 sporządzono inwentaryzację emisji metanu w wybranych krajach Unii Europejskiej, takich jak: Republika Czeska, Francja, Niemcy, Węgry, Polska, Rumunia, Słowenia oraz Wielka Brytania. Zestawione w pracach [12, 15] wartości emisji metanu, głównie opierają się na danych źródłowych udostępnionych przez <http://www.globalmethane.org/> i opublikowanych w roku 2010 w Coal Mines Methane Country Profiles przez Global Methane Initiative. Każdy z wymienionych krajów dokonał własnych szacunków przy wykorzystaniu tzw. krajowych metod szacowania emisji metanu. Inwentaryzacja wykonana dla lat 2001–2010 wskazała na duże zróżnicowanie obliczonych wskaźników emisji metanu z poszczególnych źródeł wydzielania.

Uzyskane zestawienia emisji metanu pozwalają na ogólną ocenę stanu emisji metanu w wybranych ośmiu krajach UE. I tak w czołówce krajów produkujących węgiel kamienny w latach 2001–2010 znajdują się: Polska, Niemcy, Republika Czeska i Wielka Brytania. Francja po roku 2004 zaprzestała działalności górniczej.

Generalnie wydobywanie z kopalń węgla kamiennego, w tym z kopalń metanowych w analizowanych krajach UE z roku na rok maleje, co nie jest tożsame ze spadkiem emisji wentylacyjnej kopalń metanowych. Istotny udział wielkości wydobywania z kopalń metanowych posiadają: Polska, Niemcy oraz Republika Czeska. Średnia wielkość wydobywania w latach 2001–2010 wynosiła ponad 13 mln ton/rok. Średnie wydobywanie węgla kamiennego Wielkiej Brytanii i Rumunii było porównywalne i wynosiło około 8 mln ton/rok. Tendencja spadku wydobywania węgla kamiennego dotyczyła w szczególności Polski, Niemiec oraz Węgier.

Analiza średnich wskaźników emisji metanu z kopalń metanowych węgla kamiennego we Francji wskazuje, że pomimo średniego wydobywania na poziomie 1,43 mln ton (w latach 2001–2004), górnictwo to charakteryzowały najwyższe wartości wskaźników emisji wentylacyjnej. Ponieważ nie dysponujemy danymi w zakresie emisji metanu z kopalń zlikwidowanych we Francji, należy z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że emisje metanu po zamknięciu tych kopalń były również znaczące. Ich średni wskaźnik do roku 2004 wynosił około $40 \text{ m}^3/\text{ton}$ rocznie. Kolejne miejsca w udziale wielkości wskaźników emisji metanu z kopalń metanowych dotyczą górnictwa Niemiec, Rumunii i Wielkiej Brytanii (mieszczą się w przedziale $12\text{--}17 \text{ m}^3/\text{ton}$). W latach 2008–2010 wzrosły także wskaźniki emisji metanu z kopalń metanowych Republiki Czeskiej oraz Polski. Pozostałe kraje – Węgry i Słowenia – to najmniejsza wartość wskaźników emisji metanu, poniżej $2,30 \text{ m}^3/\text{ton}$ [12].

Zestawienie emisji wentylacyjnej, wyrażonej w jednolitej formie Gg, poprzez zastosowanie (zgodnie z zaleceniami IPCC 2006) [3] współczynnika konwersji ($0,67 \cdot 10^{-6}$ Gg CH_4/m^3), pozwala na konfrontację tych wielkości w ujęciu czasowym – jednorocznym w przedziale lat 2001–2010 (tab. 3).

Powyższe dane wskazują, że największą emisją wentylacyjną metanu charakteryzują się górnictwa Polski i Niemiec. Wskaźniki emisji wentylacyjnej (tab. 4) dowodzą jednak, że pomimo wysokiej emisji wentylacyjnej z czynnych kopalń metanowych w Polsce, ich udział w stosunku do wielkości wydobywania jest stosunkowo niski. Zarówno emisja wentylacyjna jak i wskaźniki emisji metanu z górnictwa niemieckiego świadczą o tym, że metanowość pokładów węgla kopalń niemieckich należy do jednych z najwyższych w UE.

TABELA 3. Emisja wentylacyjna metanu (Gg) z węgla kamiennego w krajach UE w latach 2001–2010

TABLE 3. Methane emission from ventilation (Gg) of hard coal in UE countries in the years 2001–2010

Rok	Republika Czeska	Francja	Niemcy	Węgry	Rumunia	Słowenia	Wielka Brytania	Polska
2001	91,66	61,39	363,98	11,35	94,81	0,90	NA	345,26
2002	86,58	55,75	364,70	11,82	89,66	0,80	144,44	360,90
2003	83,89	38,08	335,70	10,72	87,47	1,16	127,20	367,49
2004	79,13	3,50	271,68	4,74	83,31	1,54	118,77	372,53
2005	89,53	0	237,83	0,89	80,67	1,64	91,36	386,05
2006	96,63	0	213,30	0,86	82,32	1,19	76,29	360,19
2007	82,91	0	163,91	0,85	84,73	1,11	39,55	395,36
2008	87,37	0	155,67	0,79	86,05	0,72	54,62	393,07
2009	91,39	0	113,87	0,56	76,29	1,08	55,94	386,08
2010	83,02	0	NA	NA	NA	NA	54,04	375,10
Średnio:	87,21	39,68	246,74	4,73	85,03	1,13	84,69	374,20

NA – nie szacowano

TABELA 4. Średnie wielkości wydobycia oraz średnie wartości wskaźników emisji wentylacyjnej metanu dla czynnych kopalń metanowych węgla kamiennego w krajach UE w latach 2001–2010

TABLE 4. Average production volumes and the average values of the ventilation methane emission factors for active coal mine methane in the EU in 2001–2010

Kraj	Średnie wydobycie z czynnych kopalń metanowych [mln ton]	Średni wskaźnik emisji wentylacyjnej metanu dla czynnych kopalń metanowych [m ³ /ton]	Aktywność kopalń metanowych w latach
Republika Czeska	13,097	10,000	2001–2010
Francja	1,433	39,505	2001–2004
Niemcy	22,579	15,847	2001–2009
Węgry	2,837	1,827	2001–2009
Rumunia	7,758	16,360	2001–2009
Słowenia	0,702	2,304	2001–2009
Wielka Brytania	9,646	12,760	2002–2010
Polska	63,671	8,872	2001–2010

Statystyki globalne dotyczące emisji metanu (Global Methane Initiative (2010) www.globalmethane.org) podają, że największym źródłem wydzielania metanu są podziemne kopalnie węgla kamiennego, o czym świadczą emisje metanu oszacowane dla górnictw krajów o najwyższej produkcji węgla. Według danych z roku 2008 [1] zasoby

metanu z kopalń klasyfikowały polskie górnictwo na miejscu siódmym, obok Chin, USA, Ukrainy, Rosji, Korei Północnej oraz Australii. Udział zasobów metanu z polskiego górnictwa wynosił 2,7%. W 2010 r. globalną emisję metanu z węgla kamiennego kopalń szacuje się na około 584 mln ton CO₂e, co stanowi 8 procent całkowitej światowej emisji metanu. Udział emisji metanu polskiego górnictwa węgla kamiennego w takim zestawieniu to zaledwie 0,13%.

Kraje ujęte w tabeli 5 to te, które posiadały najwyższe wartości rocznej emisji metanu z węgla kamiennego kopalń. W przedstawionym zestawieniu polskie górnictwo znajduje się w czołówce największych emiterów metanu na świecie. Należy jednak podkreślić, że polska gospodarka węglowa emituje zaledwie około 1,64% metanu w ujęciu ogólnoswiatowym. Emisja metanu w roku 2010 na poziomie około 457,28 Gg, klasyfikuje polskie górnictwo na ósmym miejscu pod względem udziału emisji metanu z węgla kamiennego.

TABELA 5. Emisja metanu z kopalń węgla kamiennego w roku 2010

TABLE 5. Methane emissions of coal mines in year 2010

Lp.	Świat/Kraj	Emisja metanu z węgla kamiennego kopalń [MMt* CO ₂ e**]	Emisja metanu [Gg]	Udział procentowy [%]
	Świat	584,00	27 805,85	100,00
1.	Chiny	299,50	14 260,02	51,28
2.	USA	59,00	2 809,15	10,10
3.	Rosja	55,20	2 628,22	9,45
4.	Ukraina	27,40	1 304,59	4,69
5.	Australia	26,80	1 276,02	4,59
6.	Indie	26,50	1 261,74	4,54
7.	Kazachstan	13,50	642,77	2,31
8.	Polska	9,60	457,28	1,64
9.	Columbia	7,40	352,33	1,27
10.	Vietnam	6,00	285,68	1,03
11.	Republika Czeska	2,62	124,96	0,45
12.	Wielka Brytania	1,59	75,88	0,27
13.	Pozostałe kraje	48,88	2 327,21	8,37
Emisja metanu z krajów lp. 1–12		535,12	25 478,64	91,63
Emisja metanu z krajów UE: Polski, Czeskiej Republiki i Wielkiej Brytanii (lp. 8, 11,12)		13,82	658,11	2,37

* MMT – mln ton metrycznych.

** CO₂ e – emisję metanu podano w ekwiwalencie dwutlenku węgla.

Podsumowanie

Procedura identyfikacji i oceny emisji metanu wykorzystuje metodę szacowania emisji metanu, która została dostosowana do warunków górnictwa węgla kamiennego w Polsce i określona w wytycznych IPCC mianem: *metody specyficznej dla poszczególnych kopalń*. Metoda ta uwzględniła dane rzeczywistych pomiarów metanonośności pokładów węgla oraz metanowości kopalń. Inwentaryzację emisji metanu wykonano przy założeniu, że węgiel kamienny kopalń metanowych generuje metan z czterech zidentyfikowanych źródeł. Stąd podział na emisję: wentylacyjną, z układów odgazowania, z procesów powydobywczych i z odpadów produkcyjnych. Wyróżnione cztery źródła emisji metanu szacowano w sposób niezależny. Korzystając m.in. z danych dotyczących wydobycia i metanowości węgla kamiennego wydobywanego z metanowych kopalń w Polsce w latach 2001–2011, uzyskano równanie wskaźnika emisji metanu $EF = f(Q)$ (10), które wykorzystano dla prognoz jego wartości w kolejnych latach. Etap analiz emisji metanu z kopalń metanowych wydobywających węgiel kamienny wykonany dla lat 2001–2011 pozwolił na ogólne stwierdzenie, że średni wskaźnik emisji – zwłaszcza po roku 2008 – w polskim górnictwie utrzymuje się na poziomie $13 \text{ m}^3/\text{t}$, co odpowiada emisjom metanu w granicach 433–493 Gg (śr. 465 Gg).

Emisja metanu w roku 2010 na poziomie około 457,28 Gg klasyfikuje polskie górnictwo na ósmym miejscu pod względem udziału emisji metanu z węgla kamiennego. Należy także podkreślić, że polska gospodarka węglowa emituje zaledwie około 1,64% metanu w ujęciu ogólnoświatowym. Inwentaryzacja i szacunki rzeczywistej emisji metanu z polskich kopalń pozwalają na stwierdzenie, że udział emisji metanu, a tym samym udział górnictwa polskiego w efekcie cieplarnianym, jest stosunkowo niewielki i mieści się w granicach niskich wartości, na tle wiodących górnictw węgla kamiennego na świecie.

Pracę zrealizowano w ramach projektu Lowcarb w Głównym Instytucie Górnictwa w latach 2010–2013 pt: “Low carbon mine site energy initiatives” (Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel; Contract no. RFCR-CT-2010-00004)

Literatura

- [1] Badyda, K. i Lewandowski, J. 2009. Perspektywy wzrostu zapotrzebowania na gaz dla potrzeb energetyki i ciepłownictwa. *Rynek Gazu*.
- [2] Gawlik, L. i Grzybek, I. 2002. *Szacowanie emisji metanu w polskich Zagłębiach (System Węgla Kamiennego)*. PAN Wyd. IGSMiE, Kraków.
- [3] IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [4] Krajowa Inwentaryzacja Emisji i Pochłaniania Gazów Ciepłarnianych za rok 2007. Raport wykonany na potrzeby Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu oraz Protokołu z Kioto. Krajowy Administrator Systemu Handlu Upewnieniami Do Emisji. Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji (KCIE). Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa. Maj 2009.
- [5] Kwarciański, J. 2005. *Ocena rzeczywistej emisji metanu do atmosfery spowodowanej eksploatacją węgla kamiennego*. Państwowy Instytut Geologiczny, Sosnowiec.
- [6] Kyoto Protocol for United Nations Framework Convention on Climate Change. IIIrd Conf. of Paris, December 1997.
- [7] Ochrona Środowiska w województwie Śląskim w latach 2007–2011. Katowice, 2012.
- [8] Patyńska, R. 2012. *Niepewność szacowania emisji metanu z węgla kamiennego kopalń w Polsce w latach 2001–2010*. Materiały XIX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu Górnictwo Za-

- grożenia Naturalne. Praca zbiorowa pod redakcją Józefa Kabiesza. Wydawnictwo GIG Katowice, s. 287–298.
- [9] Patyńska, R. 2012. Ocena szacowania emisji metanu z metanowych kopalń węgla kamiennego w Polsce w latach 2001–2010. *Przegląd Górniczy* nr 12, s. 35–46.
- [10] Patyńska, R. 2012. Weryfikacja wskaźnikowej metody szacowania emisji metanu z węgla kamiennego metanowych kopalń w Polsce. *Energetyka* nr 12, s. 797–805.
- [11] Patyńska, R. 2013. Methane emissions from ventilation and degasification systems of hard coal mines in Poland in the years 2001–2010. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 29, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 17–34.
- [12] Patyńska, R. 2013. Analiza redukcji emisji metanu z węgla kamiennego kopalń metanowych w Polsce na tle statystyk globalnych. *Wyd. Rynek Energii* Nr 1 (104) luty 2013 r., s. 86–94.
- [13] Patyńska, R. 2013. Prognoza wskaźników emisji metanu z kopalń metanowych węgla kamiennego w Polsce. *Wyd. IGSMiE PAN. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 3, Kraków, s. 157–168.
- [14] Patyńska, R. 2014. Methodology of estimation of methane emissions from coal mines in Poland. *Studia Geotechnica et Mechanica*.
- [15] Patyńska, R. Task 1.4. “Low carbon mine site energy initiatives” (Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel; Contract no. RFCR-CT-2010-00004) Projekt Lowcarb realizowany w Głównym Instytucie Górnictwa w latach 2010–2012, Katowice.
- [16] PIG (2008). Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce. Stan na rok 2007. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- [17] Rocznik Statystyczny Województwa Śląskiego (2001–2011). Urząd Statystyczny w Katowicach, Katowice.
- [18] Zagrożenie gazowe. Raport roczny (2001–2011) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Władysława Konopko, Wyd. GIG, Katowice, 2002–2012.