



Utilization coal mine methane in economic and ecological aspects in the example of installations to ZCP "Carbo-Energia" Sp. z o.o.

Marek KAPICA¹

¹ Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie, 40-166 Katowice, Plac Gwarków 1, tel.: 664764607, e-mail: marekkapica@op.pl

Abstract

The paper presents the problem of disposal of methane from coal mine in the example of installations belonging to ZCP "Carbo-Energia" Sp. z o. o. as the way to limiting emission of methane to the atmosphere which is a greenhouse gas. It presents genesis of occurrence of methane as a mine gas and resources of methane. Discussed ecological and economic aspects of methane gas management from coal mines.

Keywords: utilizations methane 1, greenhouse gas 2.

Streszczenie

Utylizacja metanu z pokładów węgla w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym na przykładzie ZCP „Carbo-Energia” Sp. z o.o.

W artykule przedstawiono zagadnienie utylizacji metanu z kopalń węgla kamiennego na przykładzie instalacji należącej do ZCP „Carbo-Energia” Sp. z o.o. jako sposobu ograniczenia emisji metanu do atmosfery, będącego gazem cieplarnianym. Przedstawiono genezę występowania metanu jako gazu kopalnianego oraz zasoby metanu. Omówiono ekologiczne i ekonomiczne aspekty zagospodarowania gazu metanowego z kopalń węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: utylizacja metanu 1, gaz cieplarniany 2.

1. Wstęp

Metan (CH₄) to najprostszony nasycony węglowodór alifatyczny, bezbarwny, bezwonny z powietrzem lub tlenem tworzy mieszaniny wybuchowe w zakresie stężeń od 4,5 do 15% obj. przy czym najsilniejszy wybuch następuje przy ok. 9% zawartości metanu w powietrzu, może ulec samozapłonowi pod wpływem iskry elektrycznej lub temperatury $\geq 540^{\circ}\text{C}$. Metan jest głównym składnikiem gazu ziemnego, gazu węglowego, wchodzi w skład gazów występujących m.in. w kopalniach węgla [1,2].

Własności fizykochemiczne metanu:

- temperatura topnienia $-182,6^{\circ}\text{C}$,
- temperatura wrzenia $-161,7^{\circ}\text{C}$,
- temperatura krytyczna $-82,5^{\circ}\text{C}$,
- ciśnienie krytyczne 46,3 bar,
- gęstość w warunkach normalnych $0,717 \text{ kg/m}^3$,
- wartość opałowa $50\,049 \text{ kJ/kg} = 35\,897 \text{ kJ/m}^3$.

Metan z pokładów węgla powstał w procesie uwęglania substancji roślinnych w warunkach beztlenowych. Główną rolę w procesie uwęglania odegrały warunki geologiczne powodujące zmiany ciśnienia i temperatury w nagromadzonym materiale roślinnym [3]. Metan zawarty w gazie ziemnym powstał nie tylko w procesach mikrobiologicznych, ale także pod wpływem właśnie wysokiej temperatury i ciśnienia głęboko pod powierzchnią ziemi, podobnie jak węgiel kamienny i ropa naftowa.

W procesie uwęglania rozróżnia się dwa zasadnicze stadia [3]:

- stadium diagenety – obejmujące biochemiczne procesy przeobrażenia substancji roślinnej w torf, a następnie w węgiel brunatny;
- stadium metamorfizmu, w którym następuje dalsze przeobrażenie węgla brunatnego w węgiel kamienny i antracyt, a następuje to pod wpływem takich czynników geologicznych jak wysoka temperatura złoża, wysokie ciśnienie i długi czas trwania procesu.

Z opublikowanych badań wynika, że metan związany ze złożami węgla występuje w dwóch zasadniczych formach jako [3]:

- metan zaabsorbowany, związany z substancją węglową,
- metan wolny, występujący w porach i szczelinach skał płonnych oraz pokładów węgla.

Ilość metanu i jego stężenie w pokładach węgla zależy głównie od grubości i szczelności nadkładu spoczywającego na nim, im grubszy i mniej przepuszczalny nadkład, tym silniejsza metanowość występującego pod nim złoża. Metan jako gaz cieplarniany jest drugim co do ważności gazem powodującym efekt cieplarniany [5]. Rewolucja przemysłowa zapoczątkowana w XVIII w i trwająca do chwili obecnej, przełożyła się na wzrost emisji metanu do atmosfery, i tym samym zwiększenia efektu cieplarnianego.

Tabela 1.1. Parametry gazów wywołujących efekt cieplarniany [6].

Parametr	CO ₂	CH ₄	CFC-11	CFC-12	N ₂ O
Wskaźnik efektu cieplarnianego	1	21	3500	7300	290
Koncentracja [ppm]	353	1,72	0,00028	0,00048	0,31
Roczny wzrost koncentracji [%]	0,5	0,9	4,0	4,0	0,25
Średni okres życia w atmosferze [lata]	50-200	10	130	130	150
Względny udział w powstawaniu efektu cieplarnianego w czasie ostatnich 100 lat	61%	15%	11,5%		4%

CFC-11 freon, trichlorofluorometan,

CFC-12 freon, dichlorodifluoromethane.

2. Zasoby metanu z pokładów węgla kamiennego w Polsce

Metan z pokładów węgla (MPW) udokumentowany został jedynie w złożach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w pozostałych czyli Dolnośląskim i Lubelskim Zagłębiu Węglowym ilość metanu jest dużo mniejsza, a przez to gospodarczo nieistotna [7]. Wykorzystanie metanu z pokładów węgla podyktowane jest przede wszystkim względami bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych, a dopiero później, traktowane jest jako pozyskiwanie gazu jako surowca a na samym końcu brany jest pod uwagę aspekt ekologiczny. Według Państwowej Służby Geologicznej dostępne zasoby bilansowe metanu na 31.12.2012 r. wynoszą 87,6 mld m³, w tym: w obszarach eksploatowanych złóż węgla – 39,3 mld m³ w 30 złożach, poza obszarami eksploatacji złóż węgla – 16,1 mld m³ w 13 złożach oraz w 8 złożach, w których metan występuje jako kopalina główna – 32,2 mld m³ [7]. Wydobywanie metanu systemem odmetanowania w 2013 roku wyniosło 276,6 mln m³. Jest to wielkość,

oznaczająca ilość metanu ujmowanego przez stacje odmetanowania poszczególnych kopalń węgla kamiennego oraz metan eksploatowany samodzielnie, na zasadzie samo wypływu gazu z otworów wiertniczych, sięgających do zrobów zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego. Ilość metanu, wyemitowanego wraz z powietrzem kopalnianym systemem wentylacji do atmosfery wyniosła 461,98 mln m³ [7]. W 2013 roku, z górotworu objętego wpływami eksploatacji, wydzielilo się 847,8 mln m³ metanu (metanowość bezwzględna). Od 2008 roku ilość wydzielonego metanu w przeliczeniu na Mg wydobytego węgla (metanowość względna) oscyluje w granicach od 10,5 do 11,1 m³CH₄/Mg węgla. Wskaźnik ten był prawie dwukrotnie wyższy niż w 1993 roku [8].

Tabela 2.1. Ilość metanu z pokładów węgla (MPW) w [mln m³] [7].

Udokumentowane złoża metanu	Zasoby dostępne		Zasoby przemysłowe	Emisja z wentylacją
	bilansowe	pozabilansowe		
W eksploatowanych kopalniach węgla kamiennego (30 złóż) [mln m ³]	39338,1	412,6	4863,8	461,9
Złoża ogółem (51 złóż) [mln m ³]	87614,4	11041,6	6143,57	461,9

Średnia zagospodarowania metanu w 2013 roku wyniosła 187,7 mln m³/rok co daje wzrost o 9,1 mln m³/rok w stosunku do 2012 roku. Średnia efektywność zagospodarowania ujętego metanu w 2013 roku wyniosła 67,8%. Wskaźnik ten od 2008 roku ma tendencję rosnącą. Bardzo ważnym wskaźnikiem jest również efektywność odmetanowania, ponieważ im większa efektywność tym większa ilość metanu dostępnego do instalacji jego utylizacji, a ta od 2012 roku rośnie i jest to spowodowane modernizacją oraz budową nowych stacji odmetanowania.

Tabela 2.2. Kształtowanie się metanowości względnej i bezwzględnej oraz ilości i efektywności ujęcia i zagospodarowania metanu w kopalniach węgla kamiennego w latach 2008-2013 [8].

Wykaz	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Metanowość bezwzględna [mln m ³ CH ₄ /rok]	880,9	855,7	836,4	828,8	828,2	847,8
Metanowość względna [m ³ CH ₄ /Mg węgla]	10,5	11,1	11,0	11,0	10,5	11,1
Efektywność odmetanowania [%]	31,1	30,4	30,7	30,2	32,2	32,6
Ilość zagospodarowanego metanu [mln m ³ CH ₄ /rok]	156,5	159,5	161,1	166,3	178,6	187,7
Ilość ujętego metanu (odmetanowanie) [mln m ³ CH ₄ /rok]	274,2	259,8	255,9	250,2	266,7	276,6
Efektywność zagospodarowania ujętego Metanu [%]	57,1	61,4	63,0	66,5	67,0	67,8

W zakresie nomenklatury metanowości przyjmuje się następujące definicje [9]:

Metanowość bezwzględna jest sumą ilości metanu wydzielającego się do wyrobisk (metanowość wentylacyjna oraz metan ujęty odmetanowaniem) – określa się ją jako strumień objętości metanu i wyraża w metrach sześciennych na minutę.

Metanowość wentylacyjna jest różnicą strumienia objętości metanu w wylotowym i wlotowym prądzie powietrza jest określana z bilansu strumieni objętości metanu sporządzanego na podstawie wykonanych pomiarów i obliczeń w poszczególnych punktach pomiarowych i wyrażana w metrach sześciennych na minutę.

3. Zobowiązania Polski dotyczące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych

Polska jako strona Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu jest zobowiązana m.in. do opracowania i wdrożenia państwowej strategii redukcji emisji gazów cieplarnianych. Dotyczy to również mechanizmów ekonomicznych i administracyjnych oraz okresowej kontroli jej wdrażania do wypełnienia postanowień decyzji Rady Europy w sprawie mechanizmu monitorowania emisji, CO₂ i innych gazów cieplarnianych oraz mechanizmu oceny postępu realizacji zobowiązań.

Zobowiązania międzynarodowe Polski w zakresie zmian klimatu wynikają z postanowień Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, a w szczególności Protokołu z Kioto. Polska ratyfikowała Konwencję w dniu 28 lipca 1994r i jest zobowiązana m.in. do [10]:

- opracowania i wdrożenia państwowej strategii redukcji emisji gazów cieplarnianych, w tym także mechanizmów ekonomicznych i administracyjnych, oraz okresowej kontroli jej wdrażania;
- inwentaryzacji emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych dla każdego roku według metodologii przyjętej przez Konferencję Stron i na tej podstawie monitoringu zmian emisji;
- opracowania długookresowych scenariuszy redukcji emisji dla wszystkich sektorów gospodarczych, oddzielnie dla każdego gazu;
- prowadzenia badań naukowych w zakresie problematyki zmian klimatu;
- opracowania okresowych raportów rządowych, (co dwa lata) dla Konferencji Stron zawierających szczegółowe informacje o wypełnianiu ww. zobowiązań.

Jednym z głównych zobowiązań wynikających z ratyfikacji Protokołu z Kioto przez Polskę była redukcja emisji gazów cieplarnianych o 6% w latach 2008-2012 w stosunku do roku bazowego, za który przyjęto rok 1988 (dla krajów z gospodarką w okresie przejściowym). Polska jako jeden z nielicznych krajów wypełniła swoje zobowiązania redukując emisje gazów cieplarnianych o 32% [11]. Długofalowym celem ilościowym jest osiągnięcie ok. 30 - 40% redukcji emisji gazów cieplarnianych w roku 2020 w stosunku do roku bazowego. Metan i dwutlenek węgla to gazy cieplarniane, które stanowią w Polsce 93% sumarycznej emisji gazów cieplarnianych wyrażonej w ekwiwalencie CO₂ [10]. Trzy z głównych źródeł emisji metanu występują w kategoriach: emisja lotna z paliw, rolnictwo oraz odpady. Ich udziały w krajowej emisji metanu w roku 2012 wyniosły odpowiednio 30,2%, 27,8%, 33,6%. Na emisję z pierwszej z wymienionych składa się emisja z kopalń podziemnych ok. 18,3% całkowitej emisji metanu [5]. Metan pochodzący z pokładów węgla można wykorzystać gospodarczo do produkcji energii, a co za tym idzie zmniejszyć jego emisję do atmosfery.

Metan jest gazem cieplarnianym o wyższym wskaźniku efektu cieplarnianego niż dwutlenek węgla. Zmniejszenie emisji metanu o 1 Mg daje taki sam efekt, co uniknięcie emisji 21Mg dwutlenku węgla. Z 1kg CH₄ powstaje 2,75 kg CO₂.



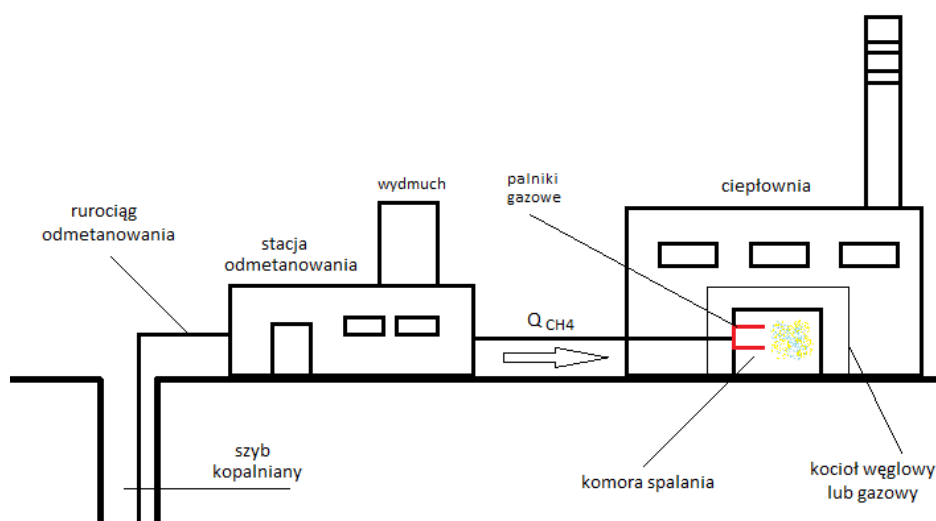
Efektywne zmniejszenie emisji następuje, gdy utlenia się metan do dwutlenku węgla zamiast uwalniać go do atmosfery, w przeliczeniu na dwutlenek węgla wynosi 18,25 Mg CO₂/Mg CH₄. Oprócz tego należy uwzględnić zysk przez zastąpienie metanem innych paliw pierwotnych do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Ograniczenie emisji metanu spowoduje zmniejszenie efektu cieplarnianego i poprawę bilansu dla gazów cieplarnianych.

Właściwości gazu są zależne od złoża, sposobu jego pozyskania oraz warunków jego eksploatacji. Podstawowe składniki czystego gazu ze złóż pokładów węglowych to metan, dwutlenek węgla (tab.3.1) oraz azot. W ilościach śladowych występować mogą przede wszystkim: tlenek węgla, wodór, hel, siarkowodór, chlorowodór, fluorowodór, amoniak i węglowodory o dłuższych łańcuchach węglowych [12].

Tabela .3.1. Typowy skład chemiczny gazu kopalnianego w zależności od miejsca poboru jednej z kopalń Kompani Węglowej S.A. [13].

MIEJSCE POBRANIA PRÓBY	ZAKRES ANALIZY [%]							
	O ₂	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	N ₂
Przekop wznoszący wentylacyjny	10,14	2,35	0,000	43,82	0,01	0,00	0,21	43,47
Podszybie poziom 1030 m	3,36	4,17	0,000	69,36	0,01	0,00	0,37	22,73
Stacja odmetanowania powierzchnia	3,32	4,19	0,000	54,40	0,01	0,00	0,23	35,64

Zagospodarowanie gazu kopalnianego w kopalniach węgla jest w dzisiejszych czasach koniecznością wynikającą ze względów zarówno bezpieczeństwa pracy załogi, jak i szeroko pojętej ochrony środowiska. W walce z metanem stosuje się wentylacyjne metody profilaktyki, gdy metan uwalniany z górotworu jest rozrzedzany za pomocą doprowadzonego powietrza do bezpiecznych koncentracji oraz odmetanowania gdy, gaz jest wysysany za pomocą rurociągów i stacji odmetanowania na powierzchnię ziemi (rys.3.1) a stamtąd może być doprowadzony do ciepłowni, gdzie w wyniku jego utylizacji uzyskamy ciepło lub ciepło i prąd w skojarzonych układach energetyczno-ciepłych.

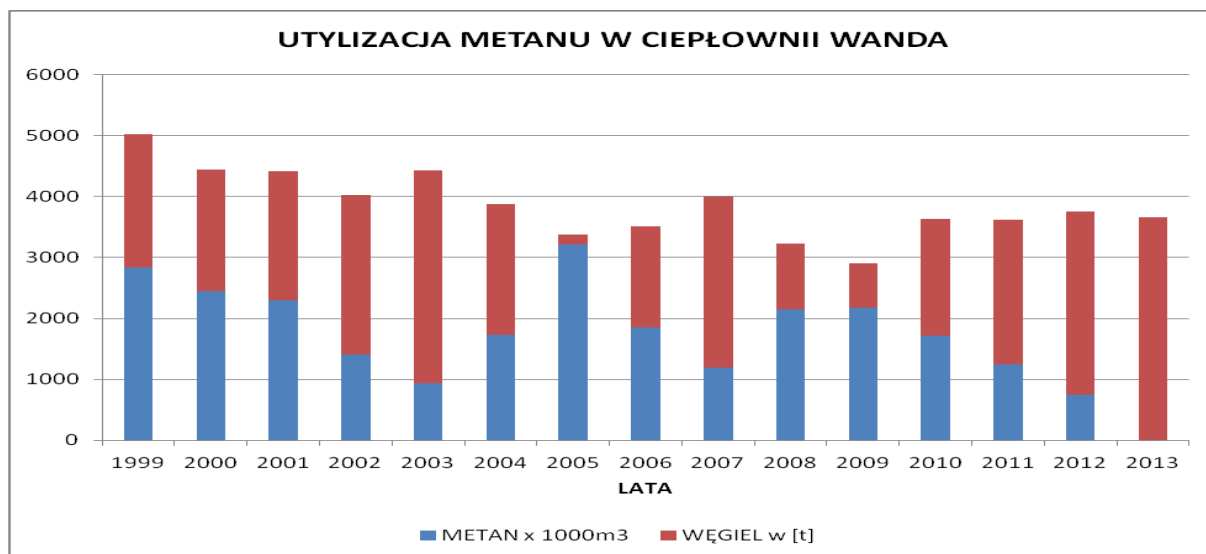


Rys. 3.1. Schemat doprowadzenia metanu z dołu kopalni do instalacji jego utylizacji [źródło własne].

4. Utylizacja metanu kopalnianego na przykładzie ZCP „Carbo-Energia” Sp. z o.o.

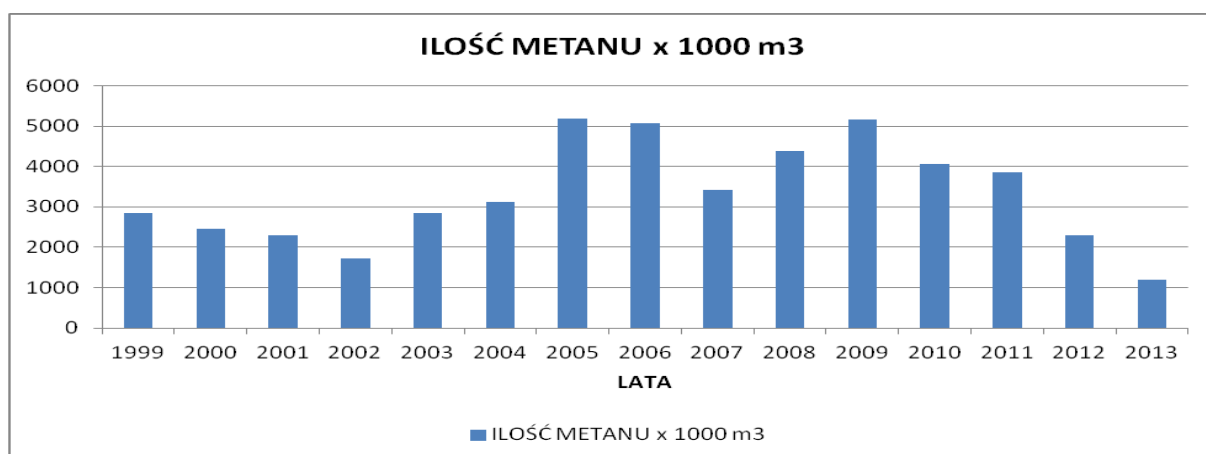
ZCP „Carbo-Energia” Sp. z o.o. powstała w 1995 r. w ramach restrukturyzacji Rudzkiej Spółki Węglowej. Od 1998 r. do spółki dołączona została ciepłownia „Wanda” znajdująca się na terenie kopalni „Pokój” w Rudzie Śląskiej. Była ona jedyną w owym czasie w/w spółce ciepłownią z instalacją do spalania metanu kopalnianego, a która to instalacja działała od 1984 r. jako jedna z nielicznych w regionie. Instalacja spalała metan w dwóch kotłach WR-5 z zainstalowanymi palnikami inżektorowymi po dwa na każdy kocioł o wydajności 700 m³/h każdy. Ze względu na to, że spalanie metanu pozwoliło ograniczyć zużycie węgla, a latem całkowicie je

eliminując. Doprowadziło to w 2002 r. do zainstalowania palników typu EXLS-4500K1 w kotłach typu Babcock (parowy) i WR-25 w ciepłowni „Bielszowice” o mocy do 4,5 MW każdy, a od 2006 r. również w ciepłowni „Halemba” w kotle WRM-5 zainstalowano palnik gazowy EXLS 4500K o mocy do 4,5 MW, w 2010 w kotle WR-10EM zainstalowano palnik gazowy EXLS 5000 o mocy 5 MW. Spalanie metanu w instalacjach kotłowych jest doskonałą alternatywą i uzupełnieniem dla gazomotorów, które potrzebują metanu o określonych stałych parametrach co niejednokrotnie w warunkach górniczych może być trudne do uzyskania, wpisuje się również idealnie w politykę klimatyczną naszego kraju zwalczającą emisję gazów cieplarnianych do atmosfery i pozwala ograniczyć spalanie węgla a tym samym ograniczyć koszty produkcji ciepła. Na (rys.4.1) widoczna jest wyraźna korelacja między ilością spalanego metanu i węgla, gdzie większe ilości gazu wyraźnie obniżają potrzebę spalania węgla.



Rys. 4.1. Utylizacja metanu na przykładzie ciepłowni „Wanda” [13].

Gaz kopalniany jest jednak gazem mało stabilnym, jeśli chodzi o ilość czy stężenie, mogą występować okresy, w których będzie go bardzo dużo, a już następnego dnia nie będzie go wcale (rys.4.2) lub w ograniczonej ilości w dużej mierze zależy to od prac wydobywczych i od stanu stacji odmetanowania.



Rys. 4.2. Ilość metanu spalonego w całej ZCP „Carbo-Energia” w latach 1999-2013 [13].

Jeśli chodzi o aspekt ekonomiczny, bez którego jakiegokolwiek inwestycje nie miałyby sensu to przedstawia się on następująco na przykładzie ciepłowni „Halemba” gdzie realizacja budowy nowego kotła wraz z palnikiem EXLS 5000 pozwoliła osiągnąć następujące korzyści[13]:

- uzyskanie sprawności spalania ok. 85%,
- zmniejszenie ilości spalane go węgla,
- zmniejszenie emisji CO₂,
- zmniejszenie emisji pyłowo-gazowej,
- zmniejszenie ilości odpadów stałych,
- zwiększenie ilości spalane go gazu z odmetanowania kopalni, nie bez znaczenia jest również efekt ekologiczny bezpośrednio powiązany z ekonomicznym (tab.4.2).

Tabela 4.1. Efekt ekonomiczny zainstalowane go palnika gazowe go w ciepłowni „Halemba” [13].

Wykaz oszczędności	Efekt finansowy [zł/rok]
Niższy koszt paliwa	191 041,46
Niższy koszt emisji CO ₂	33 604,00
Niższy koszt emisji pyłowo- gazowej	7 559,37
Niższy koszt zagospodarowania	2 100,00
SUMA	234 304,83

Tabela 4.2. Efekt ekologiczny zainstalowane go palnika gazowe go w ciepłowni „Halemba” [13].

Efekt Ekologiczny	Wielkość Efektu w [Mg]
Niższe zużycie węgla	799,0
Niższa emisja CO ₂	1 084,0
Niższa emisja pyłowo-gazowa	21,5
Niższa ilość odpadów paleniskowych	175,0

5. Podsumowanie

W interesie społecznym leży pełniejsze zagospodarowanie metanu z pokładów węgla, które pozwoliłoby na zmniejszoną emisję metanu do atmosfery, zwiększenie bezpieczeństwa prac wydobywczych jak również obniżenie kosztów wytwarzania energii, aby to osiągnąć należy:

1. Wykorzystywać metan z pokładów węglowych poprzez agregaty kogeneracyjne w oparciu o silniki gazowe,
2. wdrożyć technikę VAM (Ventilation Air Methane) czyli instalację do utylizacji metanu powietrza wentylacyjnego, jak to jest obecnie stosowane w JSW (Jastrzębska Spółka Węglowa),
3. zintensyfikować odmetanowanie pokładów węgla poprzez inwestycje w bardziej wydajne stacje odmetanowania,
4. zbudować podziemne magazyny dla metanu z pokładów węgla w celu jego późniejszego wykorzystania np. w czasie jego braku.

Istotnym wydają się również zmiany uregulowań prawnych, które uznałyby energię elektryczną i ciepłą powstałą z utylizacji metanu z pokładów węgla za energię odnawialną [14], ponieważ z jednej strony

zobowiązujemy się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery a z drugiej strony brak działań by zachęcić do ich ograniczenia mając na uwadze to, że jest to bardzo dobry nośnik energii.

Literatura

1. Stasińska B.: Ograniczenie emisji metanu z kopalń węglowych poprzez katalityczne oczyszczanie powietrza Wentylacyjnego. *Polityka Energetyczna*. Tom 12, Zeszyt 2/1, 2009, PL ISSN 1429-6675. s. 5.
2. Gazeta Firmowa Kompani Węglowej S.A. nr 1 (56) styczeń 2014. s.5
3. Kowalik S., Gajdkowska M.: Utylizacja metanu z kopalń węgla kamiennego redukcją zagrożeń dla środowiska naturalnego. *Górnictwo i Geologia*, Politechnika Śląska Gliwice 2010.
4. Mizerski W., Orłowski S., 2005: *Geologia historyczna dla geografów*. PWN.
5. KOBiZE Krajowy raport inwentaryzacyjny – inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988- 2012, Warszawa, luty 2014.
6. Tor A. „Gospodarcze wykorzystanie metanu z pokładów węgla” Siemianowice Śląskie, październik 2012r.
7. Państwowa Służba Geologiczna „Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31XII 2012” Warszawa 2013.
8. WUG „Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie w 2012 roku” Katowice, kwiecień 2013.
9. Krzystalik P., Skiba J. „ Gospodarcze wykorzystanie metanu z pokładów węgla w warunkach polskich” *POLITYKA ENERGETYCZNA* Tom 12 _ Zeszyt 2/2 _ 2009 PL ISSN 1429-6675
10. *POLITYKA KLIMATYCZNA P O L S K I* Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do Roku 2020 Ministerstwo Środowiska, Warszawa, Październik 2003r.
11. Jankowska K. „Polityka klimatyczna w Polsce”, *ESPRI POLICY PAPER* 01/2013.
12. Badyda K. „Możliwości zagospodarowania gazu kopalnianego w Polsce dla celów energetycznych” *ENERGETYKA i EKOLOGIA* Czerwiec 2008
13. Materiały własne ZCP „Carbo-Energia” Sp. z o.o.
14. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej ciepła wytwarzanych w odnawialnych źródłach energii (Dz. U. Nr 267/2004, poz. 2656).
15. Borkiewicz M. „ Problem szczególnego znaczenia. Protokół z Kioto a metan kopalniany”, *Ekologia*, Nr 9-10 (wrzesień, październik 2005),
16. Nawrat S., Kuczera Z., Łuczak R., Życzkowski P., Napieraj S., Gatnar K., „Utylizacja metanu z pokładów węgla w polskich kopalniach podziemnych”, *Uczelnianie Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH*, Kraków 2009,
17. Molenda J., Steczko K. „Ochrona środowiska w gazownictwie i wykorzystaniu gazu”, WNT, Warszawa 2000,
18. Olajossy A. „Nowe możliwości energetycznego wykorzystania gazów o niskiej zawartości metanu” *Polityka Energetyczna* (tom 8, zeszyt 1), 2005,
19. Czaja P., Klich J., Tajduś A., „Metoda pozyskiwania pierwotnych nośników energii ze złóż węgla kamiennego na drodze odmetanowania i zgazowania in situ”, *Polityka Energetyczna* (tom 16, zeszyt 3), 2013,
20. Stasińska B., Napieraj S., „Zagospodarowanie metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń węglowych”, *Przemysł Chemiczny* nr 11, 2009.