

# **KATALIZATORY UTLENIANIA METANU, JAKO PRZYKŁAD ZIEŁONEJ TECHNOLOGII**

## **1. Wprowadzenie**

Pojęciem „zielona technologia” określamy technologie obejmujące: energetykę przyjazną środowisku, magazynowanie energii, modernizację energetyki, efektywniejsze korzystanie z surowców, recykling, zrównoważoną gospodarkę wodą oraz zrównoważony transport [1].

Kryterium, które określa czy dana technologia jest uznana za zieloną to jej status usankcjonowany przepisami prawa gospodarczego obowiązującego w danym kraju i możliwość uzyskania dopłaty rządowej z tego tytułu.

Oznacza to, że zieloną technologią niekoniecznie są - jak niektórzy uważają np. siłownie wiatrowe, panele słoneczne będące energetyką odnawialną. W chwili obecnej subwencje rządowe dla zielonych technologii są jasnym kryterium powszechnie uznanego statusu technologii. Dopłaty rządowe są niezbędne do zaistnienia najbardziej innowacyjnych technologii na rynku, bez nich nigdy by nie zostałyby zaakceptowane przez rynek, a bez upowszechnienia produktów - nie byłoby szansy na obniżkę ich cen i rozwój. Miliardowe wydatki publiczne wydają się być uzasadnione, ponieważ pomagają w realizacji celów nadrzędnych - zapobieganiu zmianom klimatycznym i malejącym zasobom. Dopłaty powinny być natomiast wstrzymane wtedy, gdy dana technologia zacznie przynosić dochody, czyli zostanie urynkowana.

Przykładami takich technologii są technologie utleniania katalitycznego i termicznego metanu zawartego w tak ubogich stężeniach, które uniemożliwia spalanie płomieniowe w mieszaninach z powietrzem jak np. powietrze wentylacyjne kopalń. Mechanizmem politycznego wsparcia zielonych technologii jest między innymi handel emisjami CO<sub>2</sub>.

## **Handel emisjami CO<sub>2</sub>**

Handel emisjami (*emissions trading*) jest jednym z instrumentów polityki ekologicznej państwa, który najczęściej służy do ograniczania emisji zanieczyszczeń. Jego wdrożenie stanowi realizację postanowień protokołu z Kioto (od czasu ratyfikacji przez Rosję, protokół stał się obowiązującym prawem międzynarodowym) oraz zobowiązań wynikających z naszego członkostwa w Unii Europejskiej. Jednocześnie jest on powszechnie uważany za jeden z najbardziej rynkowo zorientowanych instrumentów w dziedzinie ochrony środowiska [2,3].

Pomysł handlu emisjami nie jest wcale nowy i istnieje już od wielu lat. Historia globalnego handlu emisjami to przede wszystkim:

- 1968 r. - powstanie koncepcji rynku „praw do zanieczyszczenia” John’a Dales’a - zastąpienie standardów emisji przez uprawnienia do emisji,
- 1992 - powołanie w Rio de Janeiro przez ONZ Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu, którą podpisało ponad 150 krajów, w tym Polska; zobowiązanie się stron Konwencji do stabilizacji i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do 2012 r. na poziomie roku bazowego 1990 (dla Polski jest to rok 1988 r.),
- 1997 – Kioto – podpisanie w Kioto Protokołu do Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu, zobowiązującego sygnatariuszy do zwiększenia wysiłków na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych i zarazem stwarzającego szansę na częściowe zrekompensowanie kosztów za pośrednictwem nowych mechanizmów polegających na możliwości kupna i sprzedaży praw do zakumulowanej nadwyżki redukcji emisji,
- 13 grudnia 2002 - ratyfikowanie przez Polskę Protokołu z Kioto, zobowiązujące do redukcji emisji gazów cieplarnianych w okresie 2008-2012 o 6% w porównaniu z poziomem z 1988 r.,
- 13 października 2003 - zapisanie w prawodawstwie unijnym ustaleń z Kioto w postaci Dyrektywy 2003/87/WE, której celem jest promowanie zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w sposób ekonomicznie efektywny; działania ukierunkowane nie tylko na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, ale także - poprawienie konkurencyjności europejskich przedsiębiorstw,
- 1 maja 2004 – wstąpienie Polski do Unii Europejskiej, nakładające na Polskę między innymi obowiązek uczestnictwa w europejskim rynku handlu emisjami dwutlenku węgla,
- 22 grudnia 2004 – uchwalenie przez Polski Sejm ustawy o handlu uprawnieniami do emisji do powietrza gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz.U. z 2004r. Nr 281, poz. 2784.),
- 17 lipca 2009 – uchwalenie przez Polski Sejm ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz.U. z 2009r. Nr 130, poz. 1070.) [4].

Najważniejsze międzynarodowe porozumienie w dziedzinie ochrony światowego systemu klimatycznego to protokół z Kioto. Zgodnie z tą umową kraje wysoko rozwinięte przyjęły zobowiązanie, by w latach 2008-2012 ograniczyć emisję CO<sub>2</sub> i innych gazów szklarniowych o około 5% w porównaniu z początkiem lat 90. Unia Europejska, jako strona protokołu z Kioto, podjęła się nieco większej redukcji emisji - 8% w stosunku do 1990r. [5]. Polska w protokole z Kioto zobowiązała się zredukować emisje gazów cieplarnianych do 2012 roku o 6% w stosunku do roku bazowego (1988). Warto podkreślić jest to, że już w 2001 roku Polska zredukowała emisję gazów cieplarnianych o około 32%, wypełniając zobowiązania z Kioto z nadwyżką [6].

Oprócz systemu handlu emisjami protokół z Kioto wprowadził dodatkowe dwa mechanizmy rynkowe, które zgodnie z założeniami mają służyć zwiększaniu efektywności ekonomicznej polityki klimatycznej. Te mechanizmy to:

- Mechanizm Czystego Rozwoju (Clean Development Mechanism - CDM)
- Wspólne Wdrożenia (Joint Implementation - JI).

Koncepcja tych projektów zakłada, że państwa rozwinięte mogą realizować i finansować projekty inwestycyjne służące ograniczaniu emisji GHGs (greenhouse gases, czyli gazów cieplarnianych) poza swymi granicami, traktując uzyskane tą drogą jednostki jako element realizacji własnych zobowiązań wynikających z protokołu (tzw. credits). W ten sposób państwa, w których koszt ograniczania emisji gazów cieplarnianych jest wysoki, mogą ograniczyć swe koszty przez zachęcanie własnych przedsiębiorstw do transferu technologii do innych krajów, gdzie są niższe koszty realizacji danej inwestycji. Redukcja emisji gazów cieplarnianych przynosi w ten sposób korzyści, niezależnie od tego, w którym zakątku kuli ziemskiej została dokonana [7].

Pierwszym krajem, który wprowadził handel emisjami do polityki ochrony atmosfery były Stany Zjednoczone. W połowie lat 70. zainicjowano tam tzw. „Politykę Handlu Emisjami”, która łączyła istniejące regulacje bezpośrednie z rynkowymi instrumentami ekonomicznymi. Od tego czasu handel emisjami zastosowano z powodzeniem w ograniczaniu emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . W celu ograniczenia emisji dwutlenku węgla handel emisjami po raz pierwszy w Europie został zastosowany w Danii i Wielkiej Brytanii [5].

Na grunt polski handel emisjami przeniosła „Ustawa z 22 grudnia 2004 r. o handlu uprawnieniami do emisji do powietrza gazów cieplarnianych i innych substancji” [8]. Ustawa ta określa zasady funkcjonowania systemu ograniczenia emisji w sposób opłacalny i ekonomicznie efektywny. Najważniejsze uregulowanie prawne ustawy to:

- przeliczenie ilości wyemitowanych gazów cieplarnianych innych niż dwutlenek węgla na tzw. ekwiwalenty za pomocą współczynników ocieplenia,
- odmienne zasady funkcjonowania Krajowego systemu handlu uprawnieniami do emisji w stosunku do systemu Wspólnotowego, dopuszczające w ten sposób handel uprawnieniami do emisji substancji innych niż gazy cieplarniane,
- nałożenia kar zgodnych z dyrektywą UE obok przewidzianych ustawą opłat za pierwszy wpis do Krajowego Rejestru Upnień do Emisji oraz opłat za przyznanie uprawnienia do emisji,
- możliwość przenoszenia uprawnień między instalacjami w tym samym zakładzie lub między zakładami, w tym zakładami należącymi do różnych przedsiębiorstw, które zdecydowały się stworzyć grupę w celu otrzymania i wykorzystania wspólnego limitu uprawnień,
- ustalenie, iż raporty roczne podlegać będą weryfikacji przez uprawnionych audytorów lub WIOŚ [9].

Obecnie na świecie oprócz Wspólnotowego Systemu Handlu Emisjami funkcjonują jeszcze dodatkowo obszary handlowe uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla: Brytyjski System Handlu Emisjami, System Wymiany Klimatycznej Chicago, System Obniżania Gazów Cieplarnianych Nowej Południowej Walii. W fazie tworzenia są nadal systemy handlu na obszarze Kanady oraz Norwegii. Dodatkowo na obszarze Stanów Zjednoczonych funkcjonuje system handlu emisjami dwutlenku siarki [10].

### **Zasady działania systemu w obszarze Unii Europejskiej**

System handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych do powietrza został wprowadzony w życie na obszarze Unii Europejskiej od 1 stycznia 2005 roku [11]. System zmusił zarządy przedsiębiorstw do wzięcia pod uwagę kosztów emisji, ukierunkowując w ten sposób pomysłowość i kreatywność przedsiębiorców na wynajdowanie innowacyjnych i mniej kosztownych sposobów walki ze zmianami klimatu. Dał początek dużej liczbie związanych z nim nowych sektorów usługowych, jak np. handel pozwoleniami na emisję dwutlenku węgla, finansowanie operacji redukcji emisji, zarządzanie nimi oraz ich audyt. Jego zakres geograficzny wzrósł wraz z rozszerzeniem UE do 27 państw członkowskich, a od początku 2008 roku do systemu przystąpiły także sąsiadujące z UE Islandia, Liechtenstein i Norwegia. W sektorach przemysłowych Europejski System Handlu Emisjami (EU ETS) obejmuje obecnie około 11 tys. bardzo energochłonnych obiektów w branży produkcyjnej oraz wytwarzania energii. Od 2012 roku rozszerzony system będzie obowiązywał również dla emisji lotniczych wytwarzanych podczas lotów do i z lotnisk europejskich [12].

System, ustanowiony aktami prawnymi zaproponowanymi przez Komisję Europejską i zatwierdzonymi przez państwa członkowskie UE oraz Parlament Europejski, opiera się na czterech fundamentalnych zasadach:

1. System typu „ograniczenie-handel”;

2. Uczestnictwo przedsiębiorstw w sektorach objętych systemem jest obowiązkowe;
3. Silne mechanizmy gwarantujące przestrzeganie ustaleń;
4. System obejmuje rynek Unii Europejskiej, ale wykorzystuje także redukcje emisji w innych częściach świata dzięki akceptacji kredytów z projektów ograniczania emisji realizowanych zgodnie z mechanizmem czystego rozwoju i instrumentem wspólnych wdrożeń, określonymi w Protokole z Kioto.

EU ETS jest również otwarty na ustanowienie formalnych powiązań z odpowiednimi obowiązkowymi systemami typu „ograniczenie-handel” w krajach trzecich, które ratyfikowały Protokół z Kioto [13].

System wdrażany jest w kolejnych etapach, zwanych też „okresami handlowymi”.

- **Etap 1**, od 1 stycznia 2005 r. do 31 grudnia 2007 r., stanowił trwającą trzy lata fazę pilotażową obejmującą „uczenie się w praktyce” i przygotowanie do decydującego etapu 2. Podczas tego etapu z powodzeniem ustalono cenę emisji dwutlenku węgla, zainicjowano wolny handel zezwoleniami do emisji na terenie UE oraz stworzono niezbędną infrastrukturę konieczną do monitorowania, zgłaszania i weryfikacji rzeczywistych emisji przedsiębiorstw objętych systemem. Zapoczątkowano generowanie corocznych zweryfikowanych danych na temat emisji, które wypełnia lukę informacyjną i stworzy solidną podstawę dla wyznaczania limitów krajowych zezwoleń na potrzeby etapu 2.
- **Etap 2**, od 1 stycznia 2008 r. do 31 grudnia 2012 r., zbiega się w czasie z „pierwszym okresem zobowiązań” w ramach protokołu z Kioto – jest to pięcioletni okres, podczas którego UE i państwa członkowskie muszą wywiązać się ze swoich celów w zakresie emisji określonych w protokole. Etap pilotażowy, realizowany w latach 2005-2007, był niezbędny dla zagwarantowania, że europejski system handlu emisjami w pełni przyczyni się do osiągnięcia tych celów dzięki efektywnemu funkcjonowaniu podczas etapu 2. Na podstawie zweryfikowanych emisji zgłoszonych podczas etapu 1 Komisja obniżyła wysokość przydziałów dozwolonych emisji podczas etapu 2 do pułapu 6.5 % poniżej poziomu z 2005 roku, gwarantując w ten sposób, że nastąpi rzeczywista redukcja emisji.
- Komisja Europejska proponuje, aby **Etap 3** objął osiem lat, od 1 stycznia 2013 r. do 31 grudnia 2020 r. Ten wydłużony okres handlowy zaowocuje lepszą przewidywalnością, co jest niezbędne, aby zachęcić do długoterminowych inwestycji w redukcje emisji. Komisja proponuje również, aby na potrzeby etapu 3 znacznie wzmocnić i rozszerzyć europejski system handlu emisjami, umożliwiając mu w ten sposób odegranie głównej roli w realizacji celów unijnych w zakresie zapobiegania zmianom klimatu i oszczędności energetycznej do roku 2020 [14].

Idea handlu emisjami polega na ustaleniu całkowitego limitu emisji dla grupy zakładów, a następnie rozdzieleniu uprawnień do emisji pomiędzy poszczególnych emitentów zanieczyszczeń. Zakłady będą mogły wykorzystać uprawnienia do własnych celów emisyjnych, sprzedać je lub zachować na przyszłe okresy rozliczeniowe. Dzięki temu przedsiębiorstwa o niskich kosztach będą mogły inwestować w dodatkowe ograniczenia emisji i sprzedawać nadmiar uprawnień podmiotom o wyższych kosztach redukcji [15]. Wykaz gazów cieplarnianych i innych substancji wprowadzanych do powietrza, objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji przedstawia tabela 1.

Przedsiębiorstwa posiadające uprawnienia do emisji dwutlenku węgla muszą spełnić wiele obowiązków, co w naturalny sposób spowoduje wzrost kosztów ich działalności. Obowiązki, jakie muszą spełnić podmioty uczestniczące w systemie handlu uprawnieniami, wynikają z wymagań formalnych i prawnych nałożonych na te przedsiębiorstwa. Firmy muszą np. w ściśle określony sposób dokonywać pomiarów emisji, które muszą być następnie zweryfikowane przez niezależnych audytorów. Przedsiębiorstwa muszą być podłączone do rejestru uprawnień, w któ-

rym będą monitorowane pozwolenia posiadane przez konkretne podmioty. Kluczowym wymogiem jest to, aby ilość wyemitowanego dwutlenku węgla nie przekroczyła wielkości określonych w posiadanych uprawnieniach. Oprócz tych ściśle technicznych wymagań uczestnictwo w systemie wiąże się ze zmianą warunków funkcjonowania przedsiębiorstw [17].

**Tabela 1.** Wykaz gazów cieplarnianych i innych substancji wprowadzanych do powietrza, objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji [16].

Lp.	Gazy cieplarniane	Nr CAS <sup>1)</sup>
1	Dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	124-38-9
2	Metan (CH <sub>4</sub> )	74-82-8
3	Podtlenek azotu (N <sub>2</sub> O)	10024-97-2
4	Fluorowęglowodory (HFC)	-
5	Perfluorowęglowodory (PFC)	-
6	Sześćciofluorek siarki (SF <sub>6</sub> )	2551-64-4

<sup>1)</sup> Oznaczenie numeryczne substancji według Chemical Abstracts Service.

Przedsiębiorstwa zostały zobowiązane między innymi do:

- Przygotowania wniosku o zezwolenie na udział we wspólnotowym systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych wraz z propozycją procedury monitorowania emisji CO<sub>2</sub> dla uzyskania zezwolenia;
- Przechowywania raportów emisyjnych przez 10 lat;
- Prowadzenia monitoringu emisji w zakładzie i przesyłania danych o emisji gazów cieplarnianych;
- Przekazywania informacji o posiadanych zezwoleniach na emisję do krajowego rejestru.
- Wyboru zewnętrznego weryfikatora;
- Złożenia raportu emisyjnego do weryfikacji;
- Złożenia pozytywnie zweryfikowanego raportu do 31 marca następnego roku jednostce wydającej pozwolenie i Krajowemu Administratorowi.

## Rozdział emisji i możliwości obrotu nimi

Przedsiębiorstwom uczestniczącym w systemie na podstawie Krajowych Planów Rozdziału Uprawnień do Emisji (*National Allocation Plan*) przydzielane są uprawnienia emisyjne. Jedno uprawnienie do emisji (*European Union Allowance* - EUA) daje prawo do wyemitowania jednej tony dwutlenku węgla. Instalacja posiadająca uprawnienia może z nich korzystać i wyemitować określoną w nich ilość zanieczyszczeń. Jeżeli zmniejszy ilość emisji, niewykorzystane uprawnienia może odsprzedać innym zakładom. Obecnie cena jednego uprawnienia na giełdach wynosi niemal 14 euro (stan na kwiecień 2009) [18]. Natomiast w przypadku wyemitowania większej ilości zanieczyszczeń, będzie musiała zapłacić karę. W pierwszym okresie kara za emisję tony gazu będącego odpowiednikiem dwutlenku węgla bez posiadania uprawnienia wynosi 40 EUR, natomiast w drugim okresie 100 EUR [19].

Jak mówi rozporządzenie „całkowita liczba uprawnień do emisji dwutlenku węgla dla Polski na okres rozliczeniowy 2008-2012 wynosi 1 042 576 975. Całkowita liczba uprawnień do emisji dwutlenku węgla na krajową rezerwę na okres rozliczeniowy 2008-2012 dla instalacji nowych, nie ujętych w planie lub dla których dokonano zmiany skutkującej zwiększeniem możliwości produkcyjnych wynosi 37 000 270 uprawnień” [20].

Mimo, że handel emisjami potencjalnie może objąć różne sektory gospodarki i wiele gazów cieplarnianych, EU ETS koncentruje się na tych emisjach, które można z dużą dokładnością zmierzyć, zgłosić i zweryfikować. Rodzaje instalacji objętych Wspólnotowym Systemem

Handlu Uprawnieniami do Emisji oraz całkowitą liczbę uprawnień do emisji dwutlenku węgla dla Polski na okres rozliczeniowy 2008-2012 przedstawia tabela 2 [21].

Począwszy od roku 2012 europejski system handlu emisjami obejmie także emisje dwutlenku węgla pochodzące z lotnictwa cywilnego. Oznacza to, że wszystkie linie lotnicze wykonujące loty do i z lotnisk europejskich będą zobowiązane do uzyskania zezwoleń na emisje wygenerowane podczas tych lotów. Proponuje się, by od 2013 r. europejski system handlu emisjami objął dodatkowo:

- obiekty zajmujące się wychwytywaniem, transportem i geologicznym składowaniem gazów cieplarnianych;
- emisje CO<sub>2</sub> generowane przez przemysł petrochemiczny, przy produkcji amoniaku i aluminium;
- emisje podtlenku azotu pochodzące z produkcji kwasów azotowego, adypinowego i formylokarboksylowego;
- emisje tetrafluorku węgla z produkcji aluminium. Jednocześnie stworzy się rządowi możliwość wyłączenia z europejskiego systemu handlu emisjami niewielkich spalarni, jeżeli wdrożone zostaną rozwiązania fiskalne lub innego rodzaju, które spowodują porównywalną redukcję ich emisji [14].

**Tabela 2.** Rodzaje instalacji objętych Wspólnym Systemem Handlu Uprawnieniami do Emisji oraz całkowita liczba uprawnień do emisji dwutlenku węgla dla Polski na okres rozliczeniowy 2008-2012 [21].

Rodzaje działalności	Kod	Rodzaj instalacji	Przydział uprawnień
Działalność energetyczna	E1.1	Instalacje do spalania, z wyjątkiem instalacji spalania odpadów niebezpiecznych lub komunalnych	857 549 870
	E1.2	Instalacje spalania stosowane w integrowanych stalowniach, w tym instalacje do walcowania, powtórnego podgrzewania, hartowania, wytrawiania	
	E1.3	Instalacje spalania stosowane w produkcji propylenu i etylenu w procesie krakingu petrochemicznego	
	E2	Rafinerie ropy naftowej	15 375 805
	E3	Piece koksownicze	14 545 000
Hutnictwo żelaza i stali	F1	Instalacje prażenia lub spiekania rud metali, w tym rudy siarczkowej	7 045 045
	F2	Instalacje do produkcji surówki żelaza lub stali (pierwotnego lub wtórnego wytopu), w tym do ciągłego odlewania stali	26 029 115
Przemysł mineralny	M1.1	Instalacje do produkcji klinkieru cementowego w piecach obrotowych	54 509 555
	M1.2	Instalacje do produkcji wapna	11 023 180
	M2.1	Instalacje do produkcji szkła, w tym włókna szklanego	7 568 310
	M2.2	Instalacje do produkcji wełny skalnej	
	M3	Instalacje do produkcji wyrobów ceramicznych za pomocą wypalania	3 719 880
Inne	O1	Instalacje do produkcji masy włóknistej z drewna lub innych materiałów włóknistych	0
	O2	Instalacje do produkcji papieru lub tektury	7 460 440

Krajowe plany rozdzielania pozwoleń państw członkowskich muszą być oparte na obiektywnych i przejrzystych kryteriach, obejmujących także zestaw wspólnych zasad określonych w ramach prawnych ustanawiających europejski system handlu emisjami. Najważniejsze zasady, brane pod uwagę przy określaniu krajowych planów, przedstawiają się następująco:

- Plan rozdziału uprawnień musi odzwierciedlać cel dla danego państwa członkowskiego ustalony zgodnie z Protokołem w Kioto, a także faktyczne i planowane postępy w osiągnięciu go. Kluczowa jest całkowita ilość przyznanых zezwoleń. Przyznanie zbyt wielu zezwoleń oznaczałoby, że należy podjąć większe wysiłki zmierzające do zredukowania emisji w sektorach gospodarczych nieobjętych europejskim systemem handlu emisjami, w potencjalnie mniej opłacalny sposób.
- Przy przyznawaniu zezwoleń każdemu obiektowi należy wziąć pod uwagę potencjalne możliwości tego obiektu w zakresie redukcji emisji w obrębie każdej z prowadzonych przezeń działalności i nie powinny one przewyższać prawdopodobnego poziomu zapotrzebowania danego zakładu.
- Jeżeli państwa członkowskie zamierzają wykorzystać kredyty CDM (mechanizm Czystego Rozwoju) i JI (Wspólne wdrożenia), wspomagając w ten sposób osiągnięcie krajowych celów w zakresie ograniczeń emisji, plany te muszą być uzasadnione np. zabezpieczeniami budżetowymi na zakup kredytów [14].

Plan Krajowego Planu Rozdziału Uprawnień tworzony jest na podstawie:

- całkowitej ilości praw emisji do rozdziału,
- liczby uprawnień do emisji w poszczególnych działach,
- wykazu instalacji wraz z przyznaną dla nich liczbą uprawnień,
- liczby krajowych uprawnień do emisji w ramach rezerwy dla nowych instalacji,
- liczby uprawnień stanowiącą pulę przeznaczoną na aukcje,
- procentowego udziału jednostek redukcji emisji [22].

W celu wyliczenia orientacyjnego limitu emisji wykorzystuje się następującą formułę [23].

$$\boxed{\text{Orientacyjny całkowity limit emisji}} = \boxed{\text{zweryfikowane emisje z 2005} \times (1 + \text{zmiana GDP}) \times x}$$

gdzie: GDP (*Gross Domestic Product*) to globalne światowe PKB

Kiedy Komisja Europejska zatwierdzi plan krajowy, całkowita liczba zezwoleń nie może ulec zmianie; podobnie ilość zezwoleń przyznanых każdemu obiektowi nie może ulec zmianie, jeżeli dane państwo członkowskie zakończyło przydzielanie limitów.

Zgodnie z rynkową filozofią mechanizmu określającego cenę za emisje dwutlenku węgla, europejski system handlu emisjami zawiera silne mechanizmy gwarantujące przestrzeganie ustaleń, a jednocześnie przyznaje decydującą rolę bodźcom ekonomicznym. Po zakończeniu każdego roku kalendarzowego podmioty muszą złożyć ilość zezwoleń odpowiadającą ilości zweryfikowanych emisji dwutlenku węgla w danym roku. Zezwolenia te są następnie anulowane, aby nie mogły być już więcej wykorzystane. Te zakłady, którym zostały niewykorzystane zezwolenia, mogą je odsprzedać lub zachować do wykorzystania w przyszłości. Podmioty, które nie złożą odpowiedniej ilości zezwoleń pokrywających ich emisje w roku uprzednim, będą karane, poprzez obowiązek uzyskania dodatkowych zezwoleń, aby nadrobić powstały niedobór w następnym roku, podanie ich do publicznej wiadomości oraz nałożenie wysokiej grzywny za każdą tonę wyemitowanego dwutlenku węgla ponad limit [12].

Handel emisjami stosowany na świecie przyjmuje kilka form:

- *mechanizm klosza* (ang.: *Bubbles*): maksymalny poziom emisji zanieczyszczeń (pułap emi-

syjny) jest przydzielany grupie zakładów tak, iż mogą one łącznie dokonywać najbardziej efektywnych kosztowo redukcji emisji (zakłady te mogą działać w ramach jednego przedsiębiorstwa);

- *mechanizm kompensat* (ang.: *Offsets*): zakłady chcące rozszerzyć skalę swojej działalności, mogą dokonać inwestycji redukcyjnych w innych zakładach;
- *kredyty redukcji emisji* (ang.: *Emission Reduction Credits*): zakłady o emisjach poniżej określonego progu (standardu) mogą otrzymywać kredyty redukcji i następnie sprzedawać je zakładom o emisjach powyżej progu;
- *ograniczenie-handel* (ang.: *Cap-and-Trade*): całkowity limit emisji (tzw. czapka, czyli *cap*) ustalany jest dla grupy zakładów i/lub sektorów, a następnie uprawnienia do emisji odpowiadające całkowitemu limitowi rozdzielane są pomiędzy te zakłady. Zakłady mogą wykazać uprawnienia do wypełnienia swych celów redukcyjnych, sprzedać je lub zachować na przyszłe okresy rozliczeniowe [24].

Handel emisjami odbywa się na dwóch szczeblach: „*upstream*” i „*downstream*”. „*Upstream*” zachodzi gdy handel występuje na poziomie producentów paliw, którzy sprzedają limity swoim klientom na żądanie i według potrzeb. Uczestnikami tego rynku są np. kopalnie, ropociągi i gaziociągi, importerzy i dystrybutorzy paliw. „*Downstream*” natomiast występuje wtedy, kiedy handel wprowadzany jest bezpośrednio w miejscu emisji – uczestniczą w nim m.in. elektrownie, huty, cementownie, które handlują nadwyżkami emisyjnymi między sobą [25].

Uprawnienia można sprzedać w wieloraki sposób:

1. na giełdach towarowych,
2. poza rynkiem giełdowym za pośrednictwem różnego rodzaju platform transakcyjnych,
3. w transakcjach bezpośrednich (bilateralnych) zawieranych na podstawie umowy kupna-sprzedaży pomiędzy stroną sprzedającą i kupującą.

Z spośród powyższych możliwości jedynie zawieranie transakcji na licencjonowanych giełdach towarowych zapewnia całkowite bezpieczeństwo rozliczeń finansowych i pewność otrzymania środków pieniężnych za sprzedane uprawnienia. Na rynku polskim funkcjonuje tylko jedna giełda towarowa posiadająca licencję Komisji Papierów Wartościowych i Giełd – jest nią Towarowa Giełda Energii SA w Warszawie (TGE), która umożliwia sprzedaż posiadanych uprawnień na specjalnie do tego celu powstałym Rynku Uprawnień do Emisji (RUE) [26].

Uprawnień do emisji nie drukuje się, lecz są one księgowane w rejestrach elektronicznych prowadzonych przez państwa członkowskie. Za pomocą ustawodawstwa Komisja Europejska utworzyła znormalizowany i zabezpieczony system rejestrów, oparty o standardy wymiany danych ONZ, służący do śledzenia i odnajdywania danych na temat wydawania, posiadania, przekazywania i anulowania uprawnień. Uwzględniono również przepisy o śledzeniu danych na temat wykorzystywania jednostek pochodzących z projektów CDM (mechanizm Czystego Rozwoju) i JI (Wspólne Wdrożenia) w systemie unijnym. System rejestracyjny przypomina system bankowy, który odnotowuje wszelkie zmiany własności środków pieniężnych na rachunkach, natomiast nie interesuje się szczegółami przeprowadzanych transakcji. System rejestrów kontrolowany jest na szczeblu unijnym przez centralnego administratora, który za pomocą niezależnego rejestru transakcji sprawdza każdą transakcję pod kątem wszelkich nieprawidłowości. Wszelkie wykryte nieprawidłowości uniemożliwiają dokonanie transakcji do momentu ich usunięcia. Unijny system rejestrów jest powiązany z międzynarodowym systemem rejestracyjnym funkcjonującym zgodnie z postanowieniami protokołu z Kioto [12].

### **Korzyści wynikające z zagospodarowanie metanu z kopalń**

Metan i ditlenek węgla to dwa gazy cieplarniane, które stanowią w Polsce 93% sumarycznej emisji gazów cieplarnianych wyrażonej w ekwiwalencie CO<sub>2</sub>. Metan znacznie intensywniej niż



ditlenku węgla (21 razy) zwiększa niepożądany efekt cieplarniany, co oznacza, że zmniejszenie emisji metanu o 1 tonę ma taki sam efekt, jak uniknięcie 21 ton emisji ditlenku węgla. Efektywne zmniejszenie emisji, jeśli utlenimy metan do ditlenku węgla zamiast uwalniać go do atmosfery, w przeliczeniu na ditlenek węgla wynosi 18,25 t CO<sub>2</sub> /t CH<sub>4</sub> [27]. Ograniczenie emisji metanu może być zatem sposobem poprawy bilansu gazów cieplarnianych, co wpływa również na wypełnienie postanowień zawartych w Protokole z Kioto i potencjalnych finansowych korzyści z zagospodarowania metanu z gazów kopalnianych.

Przy realizacji projektów zmniejszających emisję takich gazów inwestor otrzymuje tzw. ERU, czyli jednostki redukcji emisji, równoznaczne z uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>. Może je sprzedać tym, których uprawnienia emisyjne są niewystarczające. Kraj kupujący jednostki zalicza je jako własną redukcję emisji. Pozyskane w ten sposób uprawnienia emisyjne są tańsze od tych, które otrzymują w ramach swoich przydziałów bezpośredni emitenci CO<sub>2</sub>. To około 4-8 euro za tonę, wobec 14 euro za tonę uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> w zwykłym handlu emisjami.

Pierwszą spółką, która skorzystała na takim rozwiązaniu jest Jastrzębska Spółka Węglowa (JSW), która pozyskała ok. 1 mln zł w 2007 r. na sprzedaży uprawnień do emisji dwutlenku węgla, japońskiej firmie Chugoku Electric Power z Hiroszimy, która ze względu na wysoki poziom technologii w swoim kraju, ma wielkie problemy z obniżeniem emisji gazów [27]. Obecnie w jej ślady poszła Kompania Węglowa, która rozpoczęła wykorzystywanie metanu do produkcji prądu na początku roku 2009, uruchamiając służące do tego instalacje w kopalniach Szczygłowice i Sośnica-Makoszowy. Dzięki stacjom agregatów zasilanych metanem kopalnie zagospodarowały część tego gazu i zmniejszyły wydatki na energię, uzyskując przy tym jednostki ERU, które zgodnie z podpisaną we wrześniu umową, sprzedadzą japońskiej firmie Chugoku Electric Power z Hiroszimy po cenie 8,5 euro za sztukę [28].

Spółki węglowe chcą inwestować w zagospodarowanie metanu, ale narzekają na brak rozwiązań, które uczyniłyby to bardziej opłacalnym. Chodzi o to, że metan z odmetanowania kopalń, jako paliwo kopalne, nie jest zaliczony do odnawialnych źródeł energii, a tym samym nie jest objęty przywilejami, jakie niosą tzw. certyfikaty źródła pochodzenia.

W przyjętym przez rząd wiosną 2009 projekcie nowelizacji ustawy – Prawo energetyczne, kopalniany metan, choć formalnie nie spełnia kryteriów OZE – potraktowany został podobnie jak paliwa odnawialne. Poczynając od 2010 r., energia z metanu dostała czerwony certyfikat uruchamiający wsparcie podobne do tego, jakim premiowana jest tzw. energia zielona czy energia ze źródeł wysokosprawnej kogeneracji, czyli łączonej produkcji prądu i ciepła [30].

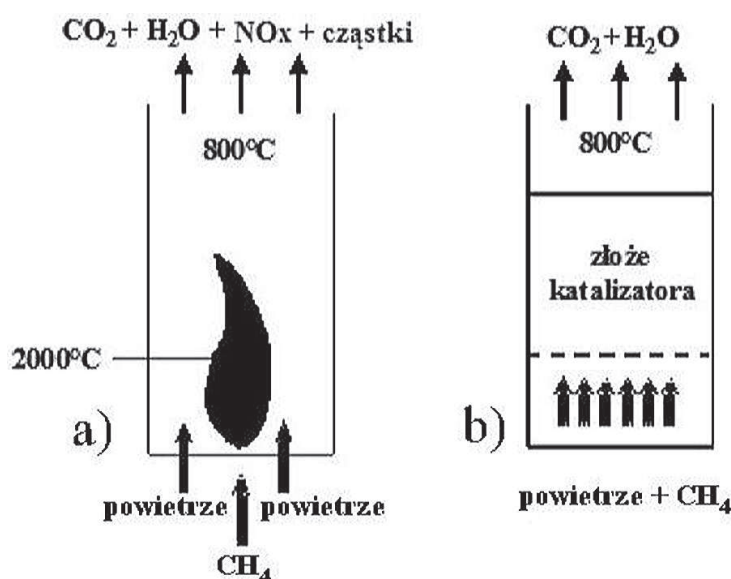
Nowelizowane w 2012r. prawo energetyczne przewiduje, że kopalniany metan oraz biometan z biogazowni rolniczych będzie objęty systemem wparcia w ramach promocji wysokosprawnej kogeneracji. Dla technologii pozyskania energii z powietrza wentylacyjnego negocjowany jest biały certyfikat. Wsparcie opierać się ma na świadectwach pochodzenia (certyfikatach) przyznawanych przez Urząd Regulacji Energetyki (URE), które objęte są obowiązkiem zakupu przez dystrybutorów energii po wynegocjowanej cenie, albo wniesieniu na konto Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) sztywnej opłaty zastępczej ustalonej przez URE. Wysokość tej opłaty może wynieść 30–120 proc. średniej ceny sprzedaży prądu na konkurencyjnym rynku. Jeśli wziąć pod uwagę cenę energii elektrycznej z początku 2009 r. (128,3 zł/MWh) i prognozowany koszt produkcji energii elektrycznej z metanu kopalnianego, to maksymalna dopłata do każdej MWh, jaką otrzyma producent energii, powinna zmieścić się w przedziale 38,6–154,6 zł, co odpowiada jednostkowym kosztom produkcji. I to jest skala wsparcia metanowej energii, konkretna zachęta do inwestowania w jej rozwój [30].

Wsparcie rządowe sprawia, iż od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia trwają prace nad zielonymi technologiami pozwalającymi rozwiązać emisję metanu z powietrzem wentylacyj-

nym kopalń węglowych na całym świecie. Największe jak dotąd doświadczenia praktyczne w zagospodarowaniu metanu z wentylacji posiada Australia. Opracowywane technologie i urządzenia możliwe do półtechnicznego i przemysłowego wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego to: ciepły przepływowy reaktor rewersyjny (TFRR – Vocsidizer), katalityczny przepływowy reaktor rewersyjny (CFRR), adsorpcyjne koncentratory metanu, turbiny gazowe CGT, turbiny z katalitycznym spalaniem (CCGT), mikroturbiny z katalitycznym spalaniem [31]. Wiele tych rozwiązań opiera się na użyciu katalizatora dla przeprowadzenia procesu utleniania metanu.

### Katalityczne utlenianie $\text{CH}_4$

Proces katalitycznego utleniania znany jest od końca XX w. jako metoda bezemisyjnego pozyskiwania energii z gazu ziemnego [32]. Zastosowanie katalizatora pozwala obniżyć temperaturę utleniania, zastąpić spalanie płomieniowe bezpłomieniowym, utlenić metan zawarty w mieszaninie z powietrzem w niewielkich stężeniach (nawet poniżej 5%), a tym samym stworzyć warunki procesu uniemożliwiające powstawanie termicznych tlenków azotu. Porównanie utleniania katalitycznego i spalania płomieniowego przedstawiają rysunki 1 a i b. Przy zastosowaniu czystego paliwa (z usuniętymi znanymi metodami zanieczyszczeniami związkami siarki) metoda ta jest znana jako technologia przyjaznego dla środowiska pozyskiwania energii z gazu ziemnego. O emisji termicznych tlenków azotu poniżej znanych metod usuwania ich z gazów spalinowych. W tej koncepcji nie znajduje szerszego zastosowania ze względu na koszty i powszechność spalania płomieniowego.

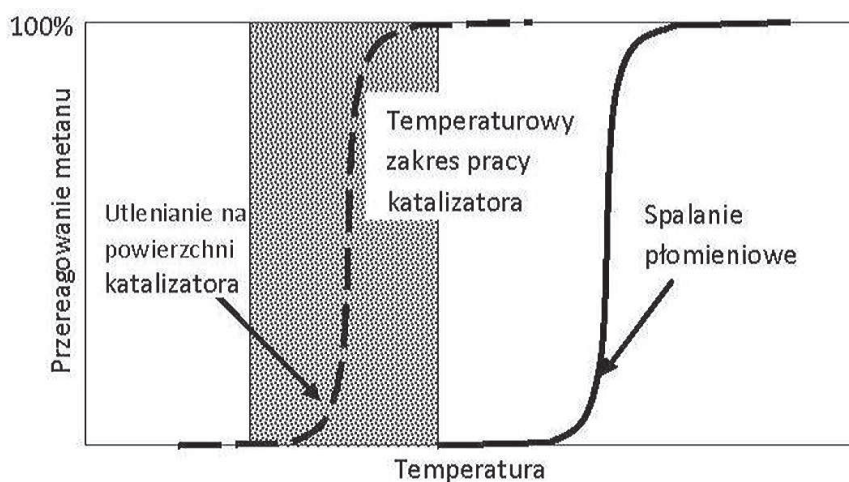


Rys. 1. Porównanie katalitycznego utleniania i spalania płomieniowego metanu.

Katalityczne utlenianie metanu może być sposobem na zagospodarowanie gazów ubogich w metan, które można wykorzystać jako źródło energii przyjazne środowisku, przyczyniając się np. do wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń.

Możliwość utylizacji ubogich w metan mieszanin, jakim jest powietrze wentylacyjne kopalń, zależy od rozwiązania technologicznego, zastosowanego katalizatora i stężenia metanu w mieszaninie z powietrzem. Proces utleniania metanu w obecności katalizatora przebiega w temperaturach niższych niż utlenianie płomieniowe, ale wymaga ogrzania katalizatora i gazów do temperatur odpowiadających zakresowi jego pracy. Temperaturowy zakres pracy katalizatora jest cechą charakterystyczną dla układu katalitycznego i obejmuje temperatury pozwalające na

rozpoczęcie utleniania oraz całkowite utlenienie metanu do dwutlenku węgla (rys. 2). Całkowite utlenienie metanu do  $\text{CO}_2$  następuje po osiągnięciu przez układ katalityczny i utleniane gazy temperatury wymaganej do tego procesu. Jest to reakcja egzotermiczna i gazy reakcyjne oraz katalizator po jej zapoczątkowaniu będą ogrzewane ciepłem wydzielanym podczas procesu.



Rys. 2. Temperatury przebiegu utleniania katalitycznego i spalania płomieniowego.

Jeśli efekt energetyczny strefy utylizacji wynikający z równowagi ogrzania układu ciepłem reakcji utleniania metanu i ochładzania przez dopływ zimniejszych gazów, zapewni utrzymanie w układzie zakresu temperatury pracy katalizatora, proces utleniania metanu będzie przebiegać bez konieczności dostarczania energii z zewnątrz (tzw. praca w warunkach autotermicznych).

W przypadku, gdy strefa utylizacji nie zapewni ogrzania katalizatora i chłodnych gazów do temperatury pracy katalizatora, aby proces utleniania metanu był kontynuowany niezbędne jest dostarczanie energii do układu utylizacji gazów. Podgrzewanie dużych ilości powietrza wentylacyjnego do temperatury pracy katalizatora wydaje się być kosztownym rozwiązaniem posiadającym jedynie walory ekologiczne.

Jeśli natomiast efekt energetyczny katalitycznego utleniania metanu zapewni znaczne ogrzanie utylizowanych gazów, gorące gazy reakcyjne mogą być wykorzystane do wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej (tzw. praca w warunkach ponadautotermicznych). Taki przypadek dopalania metanu z powietrza wentylacyjnego jest możliwy, gdy gazy wentylacyjne zostaną wzbogacone w dodatkowe ilości metanu, ujętego np. podczas odmetanowania kopalń [33,34].

Prowadzone w kraju od wielu lat badania pozwoliły na opracowanie wielu aktywnych układów w reakcji utleniania metanu, zarówno tlenkowych i metalicznych, na nośnikach ceramicznych (prace zespołu Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej) oraz monolitów metalicznych (prace zespołu pracowników Politechniki Wrocławskiej). Do unieszkodliwiania gazów, zawierających niewielkie stężenia metanu ekonomicznie uzasadnione wydaje się zastosowanie układów katalitycznych niskotemperaturowego utleniania na nośnikach ceramicznych.

Obecnie w kraju rozwijane są jednocześnie dwie technologie. PAN w Gliwicach proponuje bezkatalityczny cieplny reaktor rewersyjny. Badania tej technologii przeprowadzono w skali wielkolaboratoryjnej z całkowitym przepływem gazów  $400\text{m}^3/\text{godz}$ . Drugą technologię proponuje naukowe „Konsorcjum Utylizacji Metanu z Pokładów Węgla Podziemnych Kopalń”, utworzone przez Akademię Górniczo-Hutniczą, Politechnikę Wrocławską i Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Rozpoczęty w 2009 r. projekt „Proekologiczna technologia utylizacji metanu z kopalń” finansowany ze środków Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (oś priorytetowa: 1. Badania i rozwój nowoczesnych technologii, działanie: 1.3. Wsparcie projektów B+R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe,

podziałanie: 1.3.1. Projekty rozwojowe.), pozwolił w 2012r. na wybudowanie pilotażowej instalacji pracującej na gazach rzeczywistych o całkowitym przepływie do 4000m<sup>3</sup>/godz. Zakończone z sukcesem próby uruchomienia instalacji pokazały iż na prostym układzie wymiennik-reaktor przepływowy można uzyskać ponadautotermiczną pracę układu (bez konieczności dostarczania energii z zewnątrz do podtrzymania pracy reaktora) z odzyskiem części wydzielanej energii już przy stężeniach poniżej granicznej (wprowadzonej normą 0,75%) zawartości metanu w powietrzu wentylacyjnym.

Czynnikiem warunkującym wprowadzenie na rynek i zastosowanie tej technologii jest ocena ekonomiczna, na którą wpływają: handel emisją dwutlenku węgla i czerwony certyfikat (lub biały ostatnio rozważany przez energetyczną komisję sejmową) dla energii z gazów kopalnianych.

Możliwość zagospodarowania metanu z powietrza wentylacyjnego wpłynie na koszty wentylacji, nie tylko w wyniku uniknięcia opłat za emisję metanu, ale również poprzez uzyskanie dodatkowych jednostek redukcji emisji, równoznacznych z uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>, które kopalnia może sprzedać na rynku wtórnym, dopłatą z tytułu certyfikatu i uwolnieniem części gazów bogatych w metan wykorzystywanych dziś do ochładzania powietrza w kopalni.

Na tym przykładzie możemy zobaczyć jak tylko niektóre technologie opracowywane w laboratoriach, znajdują warunki rozwoju i zaistnienia rynku, jak droga z laboratorium do przemysłu bywa długa i uwarunkowana nie tylko jakością myśli naukowej.

## Literatura

- [1] P. Stefaniak, *Zielone” technologie - boom czy bańka?* Artykuł wnp.pl 15-05-2010
- [2] <http://www.cire.pl/handlemisjamiCO2/>
- [3] Agata Ostrowska, Praca magisterska, UMCS, Lublin, 2011.
- [4] Strona internetowa firmy Ecofys [http://www.ecofys.pl/pl/o\\_ecofys/profil.htm](http://www.ecofys.pl/pl/o_ecofys/profil.htm)
- [5] M. Sobolewski, *Europejski System Handlu Emisjami*, Kancelaria Sejmu, Biuro Studiów i Ekspertyz, Wydział Analiz Ekonomicznych i Społecznych, Grudzień 2005
- [6] [http://www.mos.gov.pl/she/prace\\_nad\\_kpru/kpru/KPRU\\_II\\_projekt\\_2007\\_18052007.pdf](http://www.mos.gov.pl/she/prace_nad_kpru/kpru/KPRU_II_projekt_2007_18052007.pdf)
- [7] R. Zajdler, A. Janowska, *Korzyści i zobowiązania dla polskich przedsiębiorstw wynikające z działań na rzecz ochrony klimatu - wspólnotowy system handlu emisjami (cz.V)*, Prawo i Podatki Unii Europejskiej. Ochrona Środowiska. Nr 9/2005.
- [8] [http://www.ure.gov.pl/portal/pl/333/2191/Handel\\_uprawnieniami\\_do\\_emisji\\_jako\\_instrument\\_ochrony\\_srodowiska.html](http://www.ure.gov.pl/portal/pl/333/2191/Handel_uprawnieniami_do_emisji_jako_instrument_ochrony_srodowiska.html)
- [9] M. Podwojski, SAP Polska *Zarządzanie i Handel Emisjami - podstawowe wymagania biznesowe i przewidywany rozwój rynku handlu emisjami* Konferencja - Zmieniamy Polski Przemysł. 26 stycznia 2005
- [10] mgr inż. Z. Chrzanowski, mgr D. Masłowski, „Handel uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub> a gospodarka UPS-ami”, Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowe „EKO-ZEC”
- [11] <http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=20&art=12>
- [12] [http://www.emisje-co2.eu/pl/handel\\_emisjami/europejski\\_system\\_handlu\\_emisjami/podstawowe\\_zasady/](http://www.emisje-co2.eu/pl/handel_emisjami/europejski_system_handlu_emisjami/podstawowe_zasady/)
- [13] Dyrektywa 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. ustanawiająca system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie oraz zmieniająca dyrektywę Rady 96/61/WET
- [14] Publikacja Komisji Europejskiej, *Działania UE przeciw zmianom klimatu. Europejski System Handlu Emisjami* 2008
- [15] <http://www.wrota.podkarpackie.pl/pl/srodowisko/handel>
- [16] Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz.U. z 2009 r. Nr 130, poz. 1070)
- [17] [http://www.pgi.gov.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1040&Itemid=478](http://www.pgi.gov.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=1040&Itemid=478)
- [18] M. Kozmana, 15 kwietnia 2009, Rzeczpospolita, Artykuł *Prawa do emisji CO<sub>2</sub> będą w cenie*

- [19] [http://www.mos.gov.pl/dgikg/koncesje\\_geologiczne/obszary\\_koncesyjne\\_wegiel\\_metan/index.shtml](http://www.mos.gov.pl/dgikg/koncesje_geologiczne/obszary_koncesyjne_wegiel_metan/index.shtml)
- [20] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2008 r. w sprawie przyjęcia Krajowego Planu Rozdziału Uprawnień do misji dwutlenku węgla na lata 2008 - 2012 dla wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji
- [21] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 lipca 2009 r. w sprawie rodzajów instalacji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji
- [22] M. Litniewski, P. Miśkiewicz, *Rynkowe systemy ograniczania emisji na przykładzie Europejskiego Systemu Handlu Emisjami CO<sub>2</sub>*, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Katedra Zarządzania w Gospodarce, Materiały do zajęć
- [23] [www.wug.gov.pl/index.php?download/74071a673307ca7459bcf75fbd024e09](http://www.wug.gov.pl/index.php?download/74071a673307ca7459bcf75fbd024e09)
- [24] [http://www.ccap.org/pdf/2003-July—Business\\_Guide\\_to\\_GHG\\_Trading—Polish.pdf](http://www.ccap.org/pdf/2003-July—Business_Guide_to_GHG_Trading—Polish.pdf)
- [25] <http://www.ekoinfo.pl/art.php?action=more&id=122&idg=5>
- [26] <http://bossa.pl/oferta/tge/co2.html>
- [27] B. Stasińska, S. Napieraj, *Zagospodarowanie metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń węglowych*
- [28] Ekologia, Nr 9-10 (wrzesień, październik 2005), M. Borkiewicz, *Problem szczególnego znaczenia. Protokół z Kioto a metan kopalniany*
- [29] [http://www.money.pl/archiwum/wiadomosci\\_agencyjne/pap/artukul/kw;zarobi;8;mln;euro;na;sprzedazy;uprawnien;do;emisji;co2,246,0,533238.html](http://www.money.pl/archiwum/wiadomosci_agencyjne/pap/artukul/kw;zarobi;8;mln;euro;na;sprzedazy;uprawnien;do;emisji;co2,246,0,533238.html)
- [30] Dziennik, Gazeta Prawna, 24 czerwca 2009, B. Mikołajczyk, *Z metanu powstanie więcej energii*
- [31] S. Nawrat, Z. Kuczera, R. Łuczak, P. Życzkowski, S. Napieraj, K. Gatnar, *Utylizacja metanu z pokładów węgla w polskich kopalniach podziemnych* Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2009
- [32] B. Stasińska, A. Machocki, Catalysts for the utilization of methane from the coal mine ventilation air, *Pol. J. Chem. Technol.*, **9** (2007) 29-32
- [33] B. Stasińska: *Ograniczenie emisji metanu z kopalń węglowych poprzez katalityczne oczyszczanie powietrza wentylacyjnego* „Polityka Energetyczna” t. 12 (2/1)/2009.
- [34] Napieraj S., Napieraj A., Sukiennik M.: *Handel emisjami – możliwości wykorzystania dla kopalń węgla kamiennego*. VI PhD Students Scientific Conference: Szklarska Poręba, 23-25 marca 2006 r. Oficyna Wydawnicza PW.