

Henryk PASSIA, Adam SZADE, Zbigniew MOTYKA, Wojciech BOCHENEK
Główny Instytut Górnictwa

SYSTEM DO CIĄGŁEGO POMIARU EMISJI METANU Z SZYBÓW WENTYLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM DWUWIĄZKOWEGO LASERA He-Ne

Streszczenie. Przedstawiono budowę i zasadę działania dwuwiązkowego systemu laserowego He-Ne ($3.39 \mu\text{m}/0.63 \mu\text{m}$) przeznaczonego do ciągłego pomiaru stężenia metanu. Omówiono wyniki pomiarów stężenia metanu uzyskane dla kopalnianego szybu wentylacyjnego.

SYSTEM FOR CONTINUOUS MEASUREMENT OF METHANE EMISSION FROM EXHAUSTED SHAFTS WITH THE USE OF TWO-BEAM HE-NE LASER

Summary. The structure and operation principle of dual wavelength ($3.39 \mu\text{m}/0.63 \mu\text{m}$) He-Ne laser system for continuous measurement of methane concentration have been presented. The results of measurement of methane concentration for exhausting shaft have been discussed.

1. Wstęp

Kontrola emisji metanu z szybów kopalnianych, pośrednio koncentracji tego gazu, stanowi obecnie duży problem. Określenie tej wielkości w odniesieniu do wszelkich generatorów tego gazu, tj. poza kopalniami węgla kamiennego, także kopalń odkrywkowych, hodowli zwierząt domowych (przeżuwaczy), upraw ryżu, składowisk odpadów węglowych i niewęglowych, w celu oszacowania udziałów każdego z nich w tworzeniu efektu cieplarnianego wywołanego występowaniem tego gazu w atmosferze jest trudne.

Ocenia się, że metan posiada obecnie kilkunastoprocentowy udział w globalnym wzroście temperatury spowodowanym efektem cieplarnianym. Jednocześnie zaś koncentracja tego gazu w atmosferze stale wzrasta.

Ogólna klasyfikacja emiterów metanu według udziału poszczególnych rodzajów źródeł przedstawia się następująco (wg [1]):

- spalanie biomasy: 16%,
- paliwa kopalne: 14%,
- uprawy ryżu: 26%,
- tereny podmokłe: 22%,
- inne: 22%.

W odniesieniu do górnictwa węgla kamiennego zagadnienie ciągłej i dokładnej kontroli emisji metanu z szybów kopalnianych posiada również inne bardzo istotne znaczenie. Powinno mianowicie dawać odpowiedź na pytanie: jaka jest efektywność odmetanowania wyrobisk podziemnych metodami górniczymi.

Jak gdyby w tle zagadnienia kontroli emisji metanu stale pozostaje problem ciągłej kontroli koncentracji metanu, szczególnie w miejscach niedostępnych, w aspekcie bezpieczeństwa przeciwybuchowego, w różnych sytuacjach, nie tylko w kopalniach, ale np. w petrochemii, transporcie gazu rurociągami, wysypiskach odpadów.

Zagadnienie pomiaru emisji metanu stanowi zasadniczo dwa oddzielne zagadnienia pomiarowe, tj. ciągłego pomiaru koncentracji metanu (lokalnej lub uśrednionej wzdłuż drogi absorpcji) oraz ciągłego pomiaru prędkości przepływu, w tym także pionowej prędkości dyfuzji metanu w powietrzu.

W przypadku szybów problem sprowadza się do wyznaczenia prędkości przepływu w przekroju kanału wentylacyjnego i samego jego przekroju.

Niniejszy artykuł prezentuje oryginalną metodę ciągłego wyznaczania koncentracji metanu w oparciu o wykorzystanie lasera He-Ne generującego naprzemiennie dwie wiązki: pomiarową ($3,39 \mu\text{m}$) absorbowaną przez metan i referencyjną $0,633 \mu\text{m}$ służącą do kompensacji efektów ubocznych.

2. Laserowa metrologia absorpcyjna

2.1. Ogólna charakterystyka laserowych pomiarów koncentracji, emisji metanu i pokrewnych węglowodorów gazowych

Spektrometria związków gazowych i niegazowych w podczerwieni, w oparciu o zjawisko selektywnej absorpcji, jest niezwykle istotnym narzędziem identyfikacji związków chemicznych z określenia ich struktury i koncentracji.

Zakres podczerwieni obejmujący przedział długości fali $0,75 \mu\text{m}$ (długofalowa granica światła widzialnego) do około $1000 \mu\text{m}$ jest zwyczajowo dzielony na trzy podzakresy: bliskiej, średniej i dalekiej podczerwieni. Przedmiotem zainteresowania niniejszego artykułu jest zakres średniej podczerwieni, tj. $2,5 - 25 \mu\text{m}$.

2.2. Prawo absorpcji promieniowania elektromagnetycznego przez materię i wielkości opisujące absorpcję

Absorpcja promieniowania elektromagnetycznego przez materię opisywana jest przez prawo Beera lub Lamberta-Beera, przedstawiane zwykle w formie eksponencjalnej

$$\frac{I}{I_0} = e^{-abc} \quad (1)$$

gdzie:

I_0 - natężenie wiązki promieniowania przed wejściem do ośrodka absorbującego,

I - natężenie wiązki po przejściu przez ośrodek absorbujący,

a - stała,

b - długość drogi w ośrodku absorbującym,

c - koncentracja.

W skróconej formie równanie to bywa przedstawione jako

$$T = e^{-\mu x}, \quad (2)$$

gdzie: $T = \frac{I}{I_0}$ - transmisja,

x - droga absorpcji,

μ - współczynnik absorpcji dla określonego λ przedstawiany jako iloczyn współczynnika ekstynkcji α ($\%^{-1}\text{cm}^{-1}$) i koncentracji (%).

Wielkości a i μ są charakterystyczne dla danego pasma absorpcyjnego i długości fali padającego promieniowania.

Oprócz wielkości transmisji T stosuje się również absorbancję

$A = \log \frac{I}{I_0}$ oraz wielkość $A = I - T$ zwaną absorpcją.

2.3. Własności absorpcyjne metanu w obszarze średniej podczerwieni dla linii lasera He-Ne $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$

Metan posiada w obszarze średniej podczerwieni dwa silne pasma absorpcyjne: jedno w obszarze $\lambda = 3,4 \mu\text{m}$, drugie (szersze) $\lambda = 7,8 \mu\text{m}$. Przedmiotem zainteresowania mogą być jeszcze pasma $1,33 \mu\text{m}$ i $1,67 \mu\text{m}$ („gorsze” w sensie praktycznego wykorzystania), wchodzące w zakres transmisji „konwencjonalnych” światłowodów telekomunikacyjnych. Ze względów praktycznych najkorzystniejsze jest pasmo $3,39 \mu\text{m}$, w związku z istnieniem efektywnego źródła promieniowania monochromatycznego, tj. lasera He-Ne ($3,39 \mu\text{m}$), szczególnie przydatnego dla realizacji pomiaru na długim dystansie. Z tego też względu prace zespołu GIG zajmującego się tym zagadnieniem koncentrują się zasadniczo na tym obszarze spektralnym. W tablicy 1. podano zmierzone wartości współczynnika ekstynkcji dla metanu i innych gazów uzyskane w pierwszym etapie prac zespołu Techniki Laserowej GIG z zakresu metanometrii laserowej [2], jeszcze w końcu lat siedemdziesiątych.

Tablica 1

Wartości współczynnika ekstynkcji dla metanu i innych gazów dla długości fali $3,39 \mu\text{m}$

Składnik gazowy	Zakres stężeń %	Współczynnik ekstynkcji α
		$\%^{-1}\text{cm}^{-1}$
metan, CH_4	0 – 4,8	$0,0939 \pm 0,0023$
etylen, C_2H_4	0 – 10	$0,0017 \pm 0,0001$
etan, C_2H_6	0 – 100	$0,0320 \pm 0,0015$
propan, C_3H_8	0 – 8,7	$0,048 \pm 0,001$
amoniak, NH_3	0 – 100	$0,0025 \pm 0,0001$

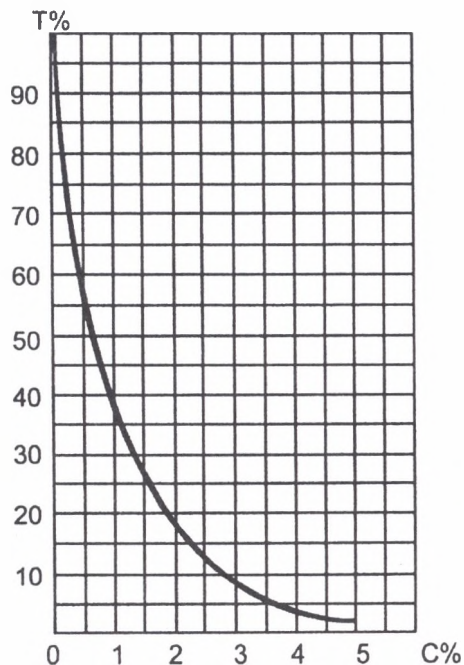
Cytowane wartości wskazują na porównywalną z metanem wielkość absorpcji węglowodorów – etanu i propanu oraz znacznie niższą – etylenu.

Z praktycznego punktu widzenia, biorąc pod uwagę wysoką eksplozywność tych gazów, należy stwierdzić, że nie jest to poważne ograniczenie metody pomiaru.

Z kolei, rys.1. przedstawia przebieg eksperymentalnej krzywej transmisji metanu w funkcji stężenia, odpowiadającej teoretycznej zależności, jak podano wyżej (zależność (3)).

3. Laserowy system do ciągłego pomiaru emisji metanu z szybów wentylacyjnych i innych obiektów rozciągniętych

Laserowy system dla ciągłego pomiaru emisji metanu z obiektów rozciągniętych stanowi wariant pomiarowy, w którym pomiar najpierw koncentracji, a następnie emisji jest realizowany przy otwartej komorze pomiarowej, tj. przy swobodnym dostępie czynników ograniczających, np. zapylenia.



Rys.1. Eksperymentalna krzywa transmisji metanu w funkcji stężenia

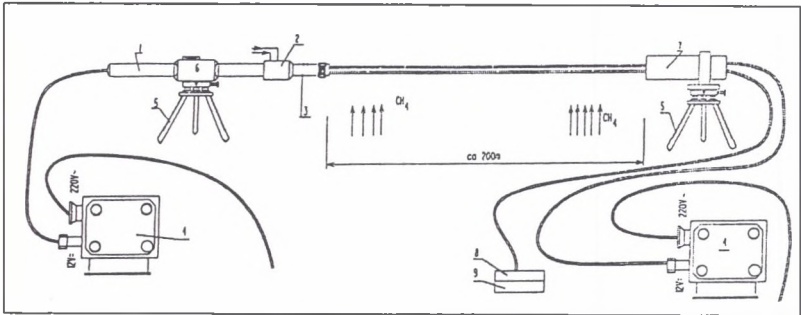
Jak wyżej zaznaczono, system działa na zasadzie wykorzystania dwu linii laserowych generowanych jednocześnie przez ten sam nadajnik laserowy.

Linia podczerwona o długości fali $3,39 \mu\text{m}$ jest właściwą linią pomiarową, natomiast linia czerwona ($0,63 \mu\text{m}$) jest linią referencyjną służącą do kompensacji efektów ubocznych (ekstynkcji wskutek obecności cząstek zapylenia) i osiowania podzespołów systemu.

3.1. Struktura systemu

Rysunek 2. przedstawia schemat ideowy systemu, który w wystarczający sposób ilustruje zasadę działania. Jak wyżej zaznaczono, w systemie wykorzystuje się dwie wiązki laserowe, podczerwona i czerwona, nałożone współosiowo na siebie, przechodzące przez obszar mierzony o rozciągłości do około 200 metrów.

Charakterystyka podstawowych podzespołów systemu, według przyjętej koncepcji, przedstawia się jak następuje.



Rys.2. Schemat ogólny systemu pomiarowego: 1 – laser dwuwiązkowy, 2 – modulator (przerwywacz selektywny), 3 – luneta, 4 – zasilacz, 5 – statyw, 6 – podstawa lasera, 7 – matryca detekcyjna, 8 – układ analizy sygnałów, 9 – rejestrator

3.2. Laser dwuwiązkowy He-Ne

Laser dwuwiązkowy He-Ne jest specjalnie zaprojektowanym nadajnikiem, generującym jednocześnie w sposób ciągły dwie wiązki z jednej rury wyładowczej wyposażonej w podwójny rezonator laserowy.

Charakterystyka tego elementu systemu przedstawia się następująco:

- moc wiązki czerwonej ($0,63 \mu\text{m}$) - 7,5 mW,
- moc wiązki podczerwonej ($3,39 \mu\text{m}$) - 5,5 mW,
- rodzaj pracy - wielomodowa,
- wybieranie wiązek - naprzemiennie za pomocą modulatora

zewnętrznego z dwoma filtrami interferencyjnymi.

3.3. Matryca detekcyjna

Podstawową część detekcyjną dla obu wiązek stanowi matryca detekcyjna zbudowana w oparciu o termopary radiacyjne TS20 produkcji VIGO (Toruń). Ich charakterystyka spektralna jest płaska od nadfioletu do dalekiej podczerwieni, a sygnał wyjściowy jest liniowy dla zakresu gęstości mocy wejściowej od 10^{-6} W/cm² do 10^{-1} W/cm².

3.4. Układ analizy sygnałów („szeregowy”)

Układ analizy sygnałów stosowanych w omawianym systemie pomiarowym ma za zadanie przeprowadzenie próbkowania kolejno sygnału pochodzącego od wiązki referencyjnej i wiązki pomiarowej, a następnie wydzielenie obydwu wielkości i odlogarytmowanie. Wielkość końcowa jest z dokładnością do stałej poszukiwaną koncentracją metanu.

4. Przykłady pomiarów polowych (dyfuzor szybu wentylacyjnego i wysypisko komunalne)

Tablica 2 przedstawia podsumowanie wyników pomiarów koncentracji metanu na dyfuzorze szybu wentylacyjnego kopalni niegazowej (KWK „Piast”).

Tablica 2

Długość fali 3,39 μm (moc lasera 5 mW)		
	Detektor zasłonięty (tło)	Detektor odsłonięty
Średnia z 10 pomiarów:	0,99 mW	4,47 mW
Długość fali 0,63 μm (moc lasera 1,4 mW)		
	Detektor zasłonięty (tło)	Detektor odsłonięty
Średnia z 5 pomiarów:	0,74 mW	1,84 mW

Dla przedstawionych parametrów pomiarowych i współczynnika ekstynkcji z tablicy 1 równego $0,0939 \text{ \%}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ oraz odległości $x=700$ cm otrzymuje się $T=\exp(-0,0939 \cdot 700 \text{ c})$, stąd $c=0,006 \text{ \% CH}_4$.

Tablica 3 przedstawia podobny zestaw wyników pomiarów koncentracji metanu dla wysypiska komunalnego (Trzebcz).

Tablica 3

Tło	4,08	4,16	4,02
IR+tło	4,24	4,32	4,32
Poziom odniesienia	3,6	3,6	3,6
Transmisja	0,05	0,05	0,08

W tym przypadku nie występowała ekstynkcja wiązki czerwonej i podczerwonej, w poprzednim przypadku powodowana zapyleniem.

Analogiczne przeliczenie dla tej wartości, przy odległości pomiarowej $x=3850$ cm, daje $c=0,15$ % CH₄.

5. Podsumowanie

Uzyskane wyniki pozwalają na następujące podsumowanie własności metrologicznych opracowanego systemu:

- dokładność pomiaru koncentracji: 0,001 % CH₄,
- rodzaj realizowanego pomiaru: ciągły lub quasi - ciągły,
- eliminacja efektów ubocznych: całkowita,
- sposób przetwarzania informacji pomiarowej: cyfrowy (komputerowy).

Prezentowana metoda może być zastosowana w identyczny sposób do pomiaru małych stężeń innych gazów (np. CO) pod warunkiem wymiany źródła promieniowania (lasera), przy zachowaniu tej samej matrycy detekcyjnej.

LITERATURA

1. IEA Greenhouse Issues, 1992.
2. Pioasecki S., Passia H., Pawlak J., Zawadzki Z.: Influence of Various Mine Air Parameters on Operation of a Laser Methanometer, CMI Annual Rep., 1979.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef Sułkowski
Prof. Politechniki Śląskiej

Abstract

There are four lines from the absorption spectrum of methane, which may be utilised in laser methanometric instruments in most convenient way. These are: 1.33, 1.67 in the overtone range, 3.39 μm mid-infrared line, and 7.8 μm in the far infrared range. The "detection quality" of the mid-infrared one is much higher than that of three other ones. The structure of He-Ne laser methanometer, whose principle of operation is based on the absorption of this line, have been presented. Actually it is dual wavelength (infrared 3.39 μm / red 0.63 μm) He-Ne laser system designed for continuous measurement of methane concentration, with 0.63 μm line used for compensation of such effects like damping of laser beam by air damp and dust. The extinction coefficients of 3.39 μm line for methane and other gases have been compared. The results of measurement of transmission for exhausting shaft set of "Piast" mine have been presented. For comparison the similar results for extended methane generators have been discussed on the example of measurements for municipal dump at location of Trzebcz. On the basis of measurement distances and extinction coefficient of 3.39 μm line the values of methane concentration were determined.