

Pomiar dwutlenku węgla, a układy klimatyzacji i wentylacji

Dwutlenek węgla to gaz, który nie ma smaku ani zapachu. Nie możemy go zobaczyć ani wyczuć za pomocą żadnego ze zmysłów. Jest on jednak gazem w istotny sposób wpływającym na nasze samopoczucie i z uwagi na to, niezbędny jest jego ciągły monitoring.

Pomiar dwutlenku węgla informuje nas o jakości powietrza w pomieszczeniu, w którym nierzadko przebywamy przez wiele godzin dziennie. Niezależnie czy jest to prywatne mieszkanie, biuro czy magazyn, zawartość CO_2 w powietrzu w znaczącym stopniu wpływa na nasze samopoczucie, wydajność pracy czy zdolność koncentracji uwagi. Z uwagi na tak silne oddziaływanie tego gazu na nasze działanie, pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu jest ważnym czynnikiem sterowania wentylacją.

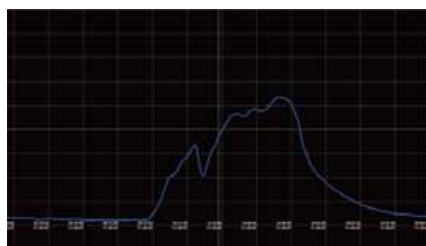
Stężenie CO_2 można mierzyć kilkoma podstawowymi metodami, z wykorzystaniem określonych typów czujników. Poniższy artykuł podejmuje tematykę wykorzystania różnych metod pomiarów stężenia CO_2 , istotnych dla działania systemów wentylacji i klimatyzacji. W wykładzie tym staram się przybliżyć podstawy działania różnych typów czujników, skupiając się szczególnie na czujnikach wykorzystujących podczerwień. Akcentowanie tej metody pomiaru stężenia CO_2 , z uwagi na szeroki zakres stosowania, popularność i dostępność, wydaje się bowiem najbardziej przydatne każdemu pracodawcy czy pracownikowi.

Problem zbyt dużego stężenia dwutlenku węgla w powietrzu najlepiej przedstawić w postaci wartości liczbowych.

A więc CO_2 w liczbach:

- 360 ppm – zawartość w świeżym powietrzu
- 1000 ppm – zalecana zawartość w pomieszczeniach (powyżej tej wartości odczuwamy zmęczenie, brak koncentracji)
- 5000 ppm – limit dla przemysłu
- 40000 ppm – zawartość w wydychanym powietrzu (ok. 20 litrów CO_2/h)

Przykład zmian stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu biurowym:



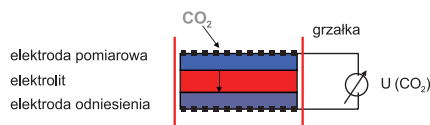
Wykres ten został wygenerowany w przeciągu jednego dnia pracy, w typowym pomieszczeniu biurowym. Prezentuje on zmiany poziomu stężenia dwutlenku węgla w zależności od pory dnia i ilości osób znajdujących się w pomieszczeniu. Wyraźnie widać, iż poziom CO_2 jest znacznie wyższy w godzinach pracy (podczas pobytu pracowników), natomiast zdecydowanie spada w czasie gdy pracownicy przebywają poza miejscem pracy.

Z przedstawionego wykresu można wyciągnąć jeden, jakże ważny wniosek – warunki pracy w pomieszczeniu zależą od ilości osób oddychających, a więc wydychających CO_2 . W celu zapewnienia optymalnych warunków pracy, stosuje się systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne, których wydajność przede wszystkim zależy od ilości osób przebywających w pomieszczeniu. Aby zapewnić optymalne działanie systemów klimatyzacyjno-wentylacyjnych należy znać poziom stężenia dwutlenku węgla. Wiedza ta jest niezbędna do odpowiedniego sterowania systemem wentylacji. Mając precyzyjne dane dotyczące stężenia CO_2 , możemy zapewnić pożądane warunki w pomieszczeniu oraz oszczędne, dostosowane do zapotrzebowania, ustawienie pracy urządzeń wentylacji/klimatyzacji.

Pomiary stężenia CO_2 dokonywane są za pomocą specjalistycznych czujników, których zasady działania oparte są o określone metody pomiaru. Do najbardziej powszechnych czujników zaliczamy:

- czujniki elektrochemiczne
- czujniki wykorzystujące podczerwień, które występują w dwóch zasadniczych wersjach:
 - czujniki foto-akustyczne
 - czujniki niedyspersyjnej absorpcji podczerwieni (NDIR)

Czujniki elektrochemiczne



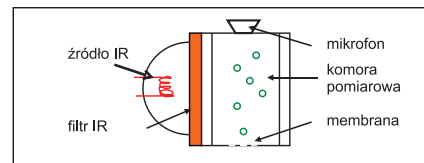
Czujniki tego typu oparte są na reakcji zachodzącej pomiędzy dwoma elektrodami czujnika. Jedna z nich stanowi elektrodę odniesienia, natomiast druga jest elektrodą pomiarową, której potencjał zależy

od stężenia dwutlenku węgla. Ze względu na stosowanie stałych elektrolitów w tego typu czujnikach, do prawidłowej pracy wymagają one wysokiej temperatury. Dodatkowym elementem jest więc grzałka utrzymująca temperaturę elementu pomiarowego w zakresie od 300 do 600°C.

Czujniki elektrochemiczne posiadają wyższą od pozostałych typów czujników granicę detekcji CO_2 . Główną ich wadą jest ograniczona żywotność elementu pomiarowego wynosząca ok. 2 lata. Znajdują one zastosowanie głównie w przemyśle. Na potrzeby niniejszego wykładu, analiza tego typu czujników i całej metody pomiaru wydają się wystarczające.

Skupmy się zatem na czujnikach wykorzystujących podczerwień do pomiarów stężenia CO_2 .

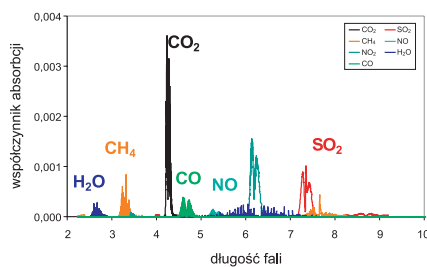
Czujniki foto-akustyczne.



Na skutek działania źródła podczerwieni, dochodzi do wibracji cząsteczek dwutlenku węgla. W wyniku tego, dochodzi do zmian ciśnienia. Zmiany te rejestrowane są przez mikrofon i przetwarzane na sygnał wyjściowy. Niestety, system ten jest czuły na zmiany ciśnienia oraz odbite dźwięki i wibracje. Dodatkowo, obróbka informacji z czujnika na sygnał wyjściowy, jest dość skomplikowana.

Czujniki niedyspersyjnej absorpcji podczerwieni (NDIR)

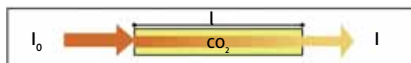
Czujniki te pracują na zasadzie podczerwieni, która w wąskim zakresie długości swoich fal jest absorbowana przez dwutlenek węgla. Część energii promieniowania zostaje zaabsorbowana przez badany gaz, a pozostała część dociera do detektora. Zastosowanie filtra daje pewność, że badanym gazem jest tylko i wyłącznie interesujący nas dwutlenek węgla. Poniższy wykres przedstawia współczynnik absorpcji dla różnych typów gazów. Dla dwutlenku węgla największy współczynnik absorpcji występuje przy ok. 4,3μm.



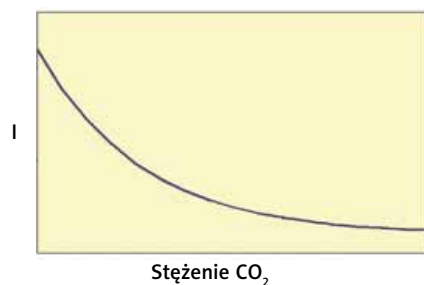
Dodatkowo, dzięki dużemu współczynnikowi absorpcji dwutlenku węgla, otrzymujemy dużą czułość elementów pomiarowych. Aby zakończyć pomiar i określić stężenie gazu na podstawie informacji otrzymanych z czujnika, stosuje się prawo absorpcji Lamberta-Beera.

Zgodnie z tym prawem współczynnik absorpcji (ϵ) jest proporcjonalny do stężenia (c) oraz grubości jej warstwy (l).

$$I = I_0 \cdot 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l}$$



Charakterystyka absorpcji (ϵ)



Budowa czujnika

Czujnik tego typu składa się z źródła światła podczerwonego, filtru zapewniającego długość fali odpowiednią dla badanego gazu, komory próbki oraz detektora podczerwieni.



Zależność temperaturowa

Ze względu na wpływ temperatury m.in. na intensywność źródła światła, charakterystykę filtrów czy też czułość detektora, otrzymujemy błąd około 2 ppm/°C. Aby osiągnąć wysoką dokładność należy więc stosować standardową kompensację temperaturową.

Zależność ciśnieniowa

Zmiany ciśnienia wpływają na gęstość gazu i przez to otrzymujemy błąd około

0.099% ppm/mbar (dla CO₂). W tego typu czujnikach nie dokonuje się kompensacji ciśnienia.

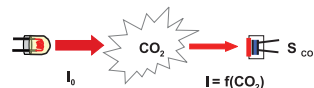
Dokładność długoterminowa

W elementach pomiarowych wraz z upływem czasu dochodzi do nieodwracalnych zmian, niepowiązanych z występowaniem dwutlenku węgla. Źródło światła podlega procesowi starzenia. Wewnątrz komory czujnika dochodzi do zanieczyszczenia powierzchni, na co istotny wpływ ma kurz oraz inne elementy pojawiające się w badanym powietrzu.

W celu zapewnienia długotrwałej dokładności pomiarów opracowano kilka metod budowy czujników, wprowadzając mechanizmy kalibracyjne.

Rodzaje czujników NDIR ze względu na ich budowę:

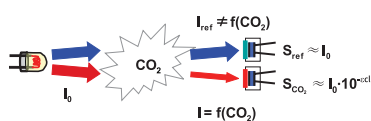
- Jedno źródło – jeden strumień – jedna długość fali



Cechy:

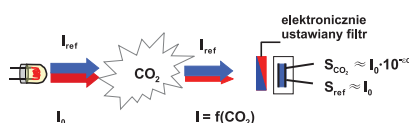
- prosty w budowie
- tani
- nie zawiera wewnętrznego źródła dla kompensacji dryftu elementu pomiarowego
- kompensacja dryftu za pomocą algorytmu – konieczność zapewnienia stabilnych warunków dla rekalkulacji

- Jedno źródło – dwa strumienie – dwie długości fali



- wewnętrzne źródło kompensacji dryftu
- wymaga dwóch różnych filtrów oraz dwóch detektorów
- bardziej podatny na zabrudzenia
- niezbędny, dokładny dobór detektorów

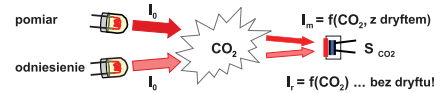
- Jedno źródło – jeden strumień – dwie długości fali



- niepotrzebny drugi detektor
- zawiera wewnętrzną kompensację dryftu
- odporny na wewnętrzne zabrudzenia
- skomplikowany moduł zmienianego

- elektronicznie filtra
- wysoka cena

- Jedno źródło – dwa strumienie – jedna długość fali



- połączenie prostego projektu z układem kompensacji dryftu
- nie wymaga drugiego detektora
- nie wymaga zmienianego filtra
- kompensacja dokonuje się za pomocą stabilnego źródła światła

Jest to najpopularniejszy typ czujników występujący w układach wentylacji i klimatyzacji. Miejsca gdzie najczęściej są stosowane to m.in. budynki biurowe (tzw. Inteligentne budynki – stężenie CO₂ determinuje konieczność włączenia wentylacji co daje wymierne oszczędności energii) szklarnie, pieczarki, chłodnie. Dzięki możliwości zastosowania wewnętrznych układów rekalkulacji, urządzenia tego typu mogą pracować bezobsługowo przez wiele lat.

Na zakończenie chciałbym zaznaczyć, iż przedstawione metody pomiaru stężenia CO₂ i odpowiadające im typy czujników nie są jedynymi. Jednak na potrzeby wykładu, zaprezentowałem tylko te, które ze względu na powszechność i dostępność są najczęściej stosowane. Mam nadzieję, że specjaliści wybaczą mi pewne uproszczenia, ale moim celem nie było pełne przedstawienie całości wiedzy na ten temat, a jedynie prezentacja i przystępne omówienie zagadnienia czujników, z którymi każdy z nas spotyka się na co dzień.



Opracowanie
Paweł Szuba

Pracuje w Introlu od 2004 roku, obecnie na stanowisku kierownika działu temperatur. Zajmuje się ponadto pomiarami dwutlenku węgla w układach klimatyzacji.

tel. 032/7890110
e-mail: temperatura@introl.pl