

Selektywne mierniki dwutlenku węgla

CO₂



aSENSE



eSENSE



AirTECH eko+



AirTECH eko+/D



AirTECH eko+/D3



STEROWANIE WENTYLACJĄ w nowoczesnych budynkach – wyzwanie teraźniejszości

Eksploatacja nowoczesnego budynku, np. biurowca, centrum handlowego, kulturalnego czy gastronomicznego, to poważne przedsięwzięcie, zarówno marketingowe, jak i organizacyjne. Z jednej strony przynosi poważne przychody, tym wyższe im wyższa klasa obiektu, z drugiej wymaga jednak znacznych nakładów finansowych m.in. na utrzymanie pracy różnorodnych systemów wewnętrznych. W biuletynie tym chcemy przybliżyć Czytelnikowi pojęcie sterowania systemami wentylacyjnymi i klimatyzacyjnymi zgodnie z zapotrzebowaniem (demand control ventilation), jako jednego ze sposobów ograniczenia kosztów eksploatacyjnych w budynkach. Zamierzeniem naszym jest zainteresowanie nie tylko administratorów budynków użyteczności publicznej, lecz również projektantów, którym coraz częściej stawia się wymóg zmniejszenia kosztów eksploatacji. Chcemy podkreślić, że biuletyn ten omawia rozwiązania dawno już wypracowane i powszechnie stosowane w innych krajach. W Polsce, problem ten stanął na porządku dziennym wraz z boomem inwestycyjnym w budownictwie biurowców i innych obiektów użyteczności publicznej. Dotyczy on nie tylko wielkich kompleksów biurowych. Stosując współczesne rozwiązania techniczne, sterowanie wentylacją zgodnie z zapotrzebowaniem można też wykorzystać w mniejszych obiektach – halach sportowych, restauracjach, kinach, a nawet w szkołach. Co ważne, ceny takich sterowników wynoszą ok. 600 złotych co umożliwia powszechne stosowanie w domach jednorodzinnych.

■ JAKOŚĆ POWIETRZA W POMIESZCZENIACH

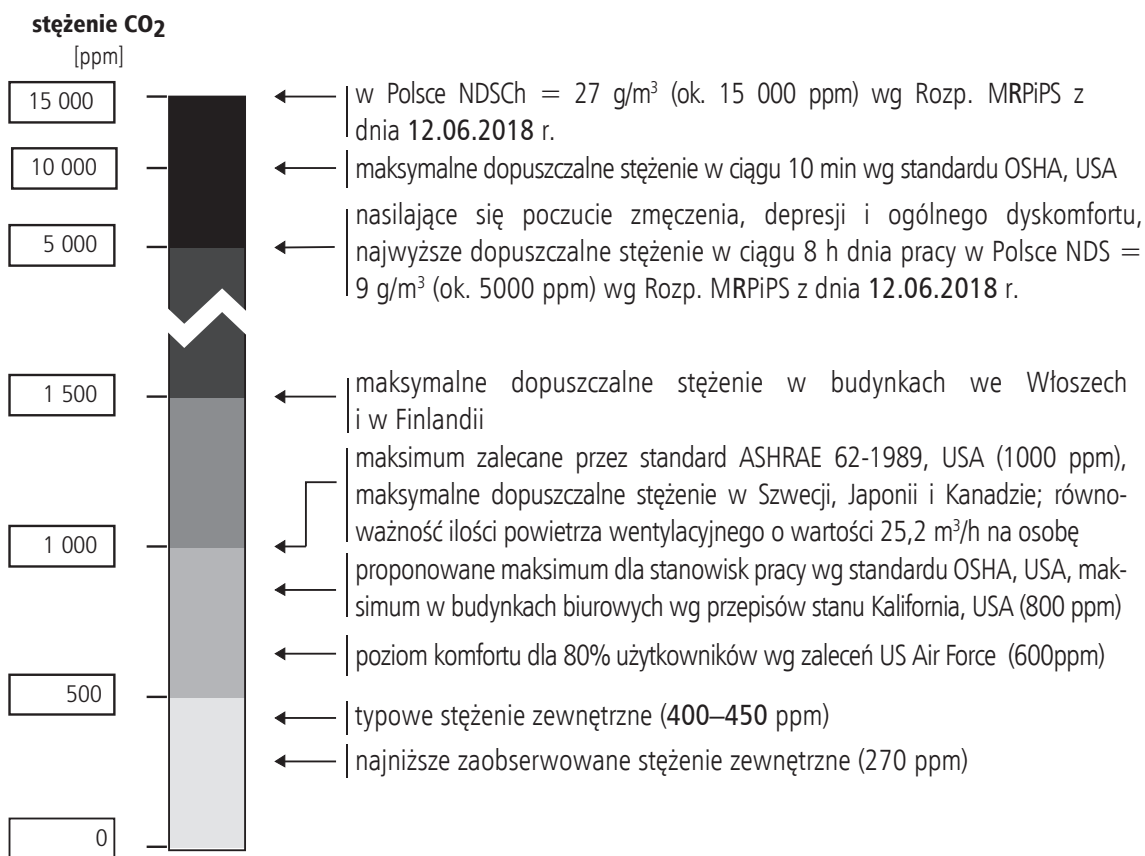
Istotną część kosztów eksploatacyjnych w obiektach użyteczności publicznej pochłania ogrzewanie i klimatyzacja pomieszczeń. Koszty te można zmniejszyć przez ograniczanie dopływu świeżego, z reguły zimnego, powietrza spoza budynku. Nie można jednak całkowicie zamknąć obiegu powietrza, gdyż przebywający w budynku ludzie oddychając zużywają tlen, wydychają dwutlenek węgla, parę wodną, a także wydzielają wiele innych substancji czynnych biologicznie. Są to gazy, czynniki zapachowe, feromony, cząstki organiczne i nieorganiczne, roztocza, zarodniki grzybów, bakterie i wirusy. Ich nagromadzenie się powoduje, że ludzie przebywający w pomieszczeniu zaczynają odczuwać zmęczenie, bóle głowy i ogólny dyskomfort. Prowadzi to nie tylko do zmniejszenia wydajności pracy. W dłuższym okresie może powodować rozwój różnorodnych chorób, głównie układu oddechowego, a także alergii i migren, stanowiących pewien stały zespół chorobowy nazywany syndromem chorobotwórczego biurowca (sick building syndrome). Aby temu przeciwdziałać należy stale dostarczać do budynku świeże powietrze i usuwać zużyte. W nowoczesnych, dobrze izolowanych termicznie budynkach funkcję tę pełni mechaniczny system wentylacyjny.

Tradycyjnie, projektant budowlany opracowuje założenia systemu wentylacyjnego obiektu biorąc pod uwagę powierzchnię użytkową i przewidywaną maksymalną liczbę użytkowników, a także normy wentylacji zalecane dla danego typu pomieszczeń. Stosowanie tradycyjnych sposobów określania wymagań w stosunku do systemów wentylacyjnych prowadzi do niepotrzebnego i bardzo kosztownego wentylowania tysięcy metrów sześciennych kubatury i związanych z tym strat ciepłych w okresach, gdy liczba użytkowników jest mniejsza od założonej. Sprawa komplikuje się dodatkowo, gdy w obiekcie wykorzystywane są pomieszczenia o różnym przeznaczeniu i kubaturze. Często w jednym kompleksie część powierzchni przewidziano na wynajem dla firm, część to kilka sal kinowych, a także sale konferencyjne, restauracje i sklepy. Każde z tych pomieszczeń musi być wentylowane niezależnie i z różną intensywnością. Można to zrealizować poprzez sterowanie wentylacją stosownie do liczby ludzi przebywających aktualnie w danym pomieszczeniu. Określane to jest, jako sterowanie wentylacją zgodnie z zapotrzebowaniem (demand control ventilation).

■ CO₂ – WSKAŹNIK JAKOŚCI POWIETRZA

Spośród różnych wskaźników określających zapotrzebowanie na świeże powietrze (inaczej – wskaźnik obecności ludzi) w pomieszczeniach, najlepszym okazał się poziom stężenia dwutlenku węgla. Jest to powszechnie występujący gaz wydzielany m.in. w wyniku normalnego metabolizmu organizmów żywych. W sytuacjach typowych, powietrze wydychane przez człowieka zawiera od 2 do 3% (20000 do 30000 ppm) dwutlenku węgla. Zewnętrzne stężenie CO₂ w atmosferze z reguły zawiera się w przedziale 400 do 450 ppm. Natomiast powietrze wewnątrz budynków zawiera ten gaz w koncentracji 500 do 2000 ppm, zależnie od liczby przebywających tam osób oraz ilości powietrza dostarczanego z zewnątrz przez system wentylacyjny.

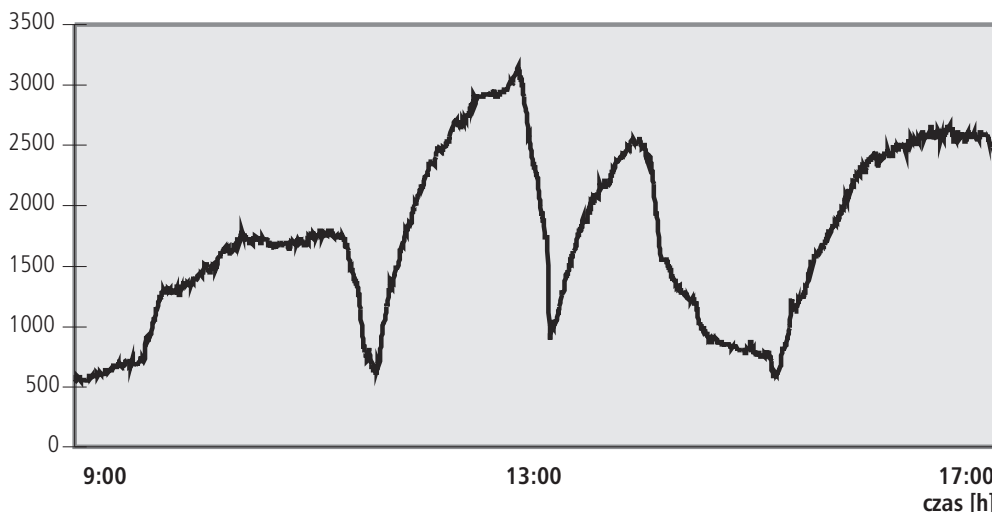
Opisane wcześniej poczucie „nieświeżości powietrza” i związany z tym dyskomfort, przygnębienie i spadek wydajności pracy pojawia się wraz ze wzrostem stężenia CO₂ powyżej 1000 ppm. Koncentracja CO₂ w powietrzu wewnątrz budynku wynosząca 800–1500 ppm odpowiada ilości powietrza wentylacyjnego w ilości 20–30 m³/h na osobę, a więc normom określonym przez niektóre standardy, w tym amerykańskie, skandynawskie, czy niektórych krajów Unii Europejskiej. Również polskie normy zalecają taką ilość powietrza wentylacyjnego. Na rys.1 zebrano normy dotyczące poziomów CO₂ dopuszczane przez różne standardy.



Rys.1. Normy stężenia CO₂ wewnątrz pomieszczeń, w których przebywają ludzie.

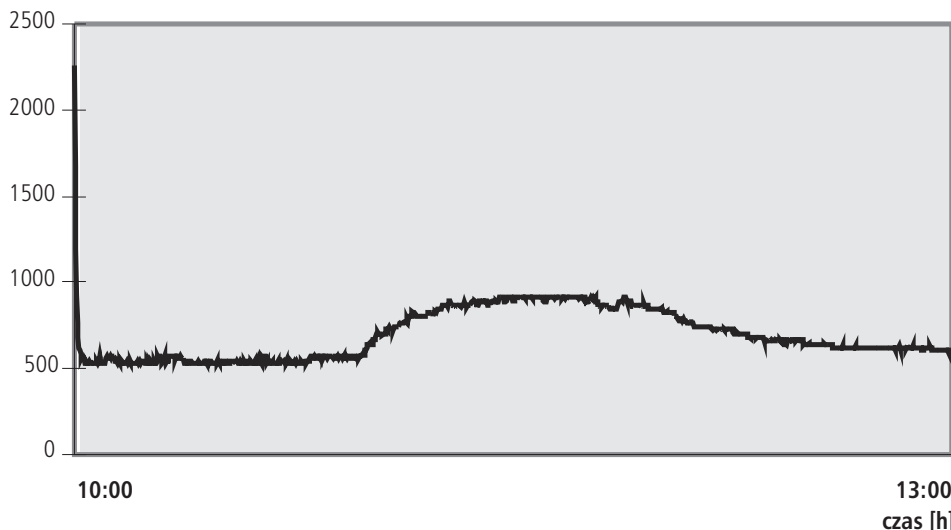
Jakość powietrza wewnętrznego ma szczególne znaczenie w pomieszczeniach, w których w tym samym czasie przebywa wiele osób wykonujących odpowiedzialną i intensywną pracę umysłową, np. w salach typu „dealing room”. Uczucie senności i spadek wydajności pracy pracowników zajmujących się operacjami finansowymi na wielką skalę może spowodować wymierne straty. Dlatego w bankach, ostatnio również w Polsce, zapewnia się takim pracownikom szczególną ochronę. Różnice w jakości powietrza wentylacyjnego między pomieszczeniami z wentylacją naturalną i mechaniczną są pokazane na rys. 2 i 3.

stężenie CO₂ [ppm]



Rys. 2. Zmiany stężenia dwutlenku węgla na sali konferencyjnej w czasie obrad. Konferencja naukowa „Problemy jakości powietrza”. Grudzień, 1995, Sala Senatu Politechniki Warszawskiej. Liczba uczestników 30–55. Wentylacja naturalna wspomagana otwieraniem okien w czasie przerw.

stężenie CO₂ [ppm]

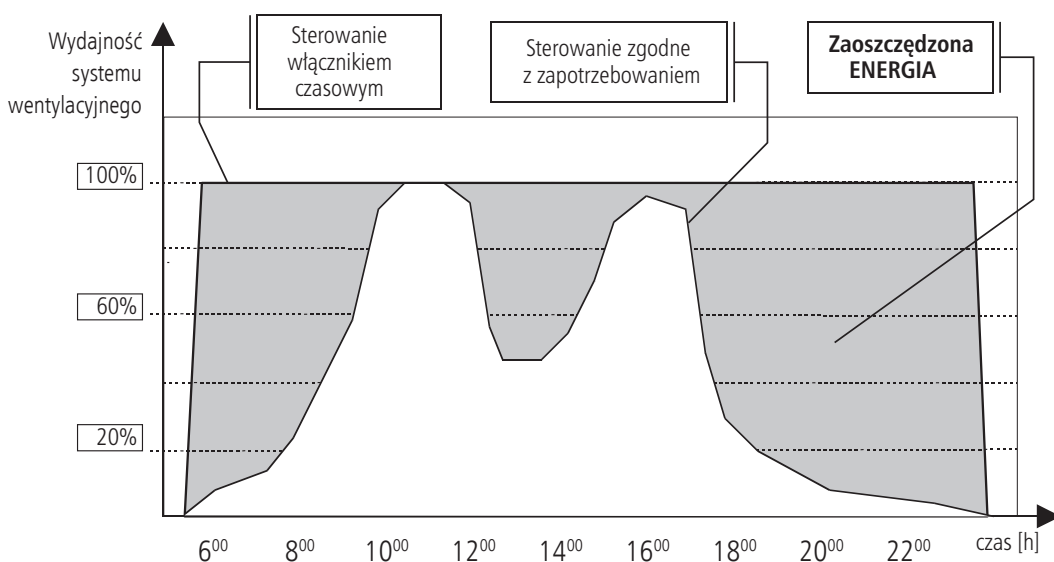


Rys. 3. Zmiany stężenia dwutlenku węgla w sali Senatu RP w czasie obrad plenarnych. Około 50 osób. System wentylacji mechanicznej.

■ CO₂ – KLUCZ DO OSZCZĘDNOŚCI

Sterowanie wydajnością systemu wentylacyjnego realizowane w oparciu o pomiar poziomu CO₂ gwarantuje stałe pokrywanie aktualnego zapotrzebowania na świeże powietrze, przy minimalnym zużyciu energii zużywanej przez system wentylacyjny. W pomieszczeniach charakteryzujących się dużym zróżnicowaniem liczby osób przebywających w nich w ciągu dnia (kina, teatry, pomieszczenia biurowe, hale sportowe, szkoły) uzyskiwane oszczędności wynoszą od **8 do 50%**.

Systemy kontroli oparte na pomiarze stężenia dwutlenku węgla dają właścicielom i administratorom budynków możliwość zoptymalizowania intensywności wentylacji w zależności od stopnia wykorzystania pomieszczeń i zmniejszenia kosztów, gdy w budynku przebywa mało osób. Na rys. 4 porównano pracę dwóch systemów: klasycznego, z wydajnością opartą na założonej z góry liczbie użytkowników i sterowanego wyłącznikiem czasowym oraz inteligentnego, zapewniającego dopływ świeżego powietrza w zależności od potrzeb określanych przez poziom CO₂. Kontrola stężenia dwutlenku węgla w drugim przypadku daje pewność, że ilość dostarczanego z zewnątrz powietrza jest przez cały czas dostosowana do liczby osób przebywających w pomieszczeniu. Oszczędności energii uzyskiwane w ten sposób zilustrowane są, jako różnica obszarów zakreślonych krzywymi ilości powietrza wentylacyjnego dostarczanego przez systemy sterowane wyłącznikiem czasowym, bądź sterowane bieżącym zapotrzebowaniem.



Rys. 4. Oszczędność energii w systemach wentylacyjnych sterowanych w oparciu o poziom stężenia CO₂.

Analizy przeprowadzone dla warunków polskich wskazują, że koszt zastosowania kontroli CO₂ do sterowania systemem wentylacyjnym w sali kinowej mieszczącej 500 osób i wyposażonej w wentylator dwubiegowy o mocy 4 kW przy obecnej cenie energii elektrycznej, amortyzuje się już przed upływem 1 roku. Wraz ze wzrostem cen energii czas ten będzie ulegał skróceniu. Analizy oszczędności dla konkretnych obiektów można dokonać przy użyciu specjalizowanych kalkulatorów istniejących w Internecie.

■ PROCEDURY STEROWANIA WENTYLACJĄ

Sterowanie wentylacją zgodnie z zapotrzebowaniem obejmuje kilka różnych procedur, stosowanych w zależności od typu budynku. Poniżej przedstawiono trzy typowe procedury.

1. Kontrola punktowa

Kontrola punktowa jest realizowana przez proste włączanie bądź wyłączenie przełącznika sterującego systemem wentylacyjnym, w zależności od poziomu stężenia CO₂. W typowych rozwiązaniach, styki przełącznika powinny być zwierane (włączany wentylator), gdy stężenie CO₂ osiąga założony poziom i rozwierane (wentylator wyłączany), gdy obniży się ono 50–100 ppm poniżej zadanej wartości. Kontrola punktowa ma zastosowanie, gdy liczba użytkowników jest duża (20–50 osób na 100 m²), a zmiana ilości osób następuje gwałtownie. Z sytuacjami takimi mamy najczęściej do czynienia w teatrach, salach konferencyjnych, klasach szkolnych.

Jeśli system wentylacyjny jest wyposażony w wentylator kilkustopniowy, sterowanie punktowe można realizować krokowo, od najmniejszej wydajności przy niskim stężeniu CO₂, do pełnej wydajności przy dużym zapotrzebowaniu na świeże powietrze. Można przyjąć następujące progi stężenia CO₂ dla sterowania wentylacją zgodnie z zapotrzebowaniem:

- 600 ppm optymalne stężenie CO₂ w powietrzu, przy którym wentylacja powinna pracować z minimalną wydajnością (ok. 15–20%);
- 800 ppm włączenie wentylacji z wydajnością ok. 50%;
- 1000 ppm włączenie wentylacji z wydajnością ok. 80%;
- 1400 ppm włączenie wentylacji z maksymalną wydajnością.

2. Kontrola proporcjonalna

Inteligentny układ sterujący powinien reagować na zmiany sytuacji z pewnym wyprzedzeniem. W przypadku kontroli proporcjonalnej, sensor CO₂ powinien dawać na wyjściu sygnał proporcjonalny do stężenia tego gazu, np. 0–10 V. Sygnał ten jest następnie wykorzystywany do sterowania intensywnością wentylacji proporcjonalnie do zmieniających się potrzeb. W typowych zastosowaniach system się uruchamia, gdy poziom CO₂ przekracza nastawioną wartość o 100 ppm. Powietrze będzie dostarczane proporcjonalnie do stężenia CO₂, aż system osiągnie 100% wydajności. W porównaniu do kontroli punktowej, kontrola proporcjonalna umożliwia znacznie szybsze dopasowywanie się pracy systemu do zmieniającej się liczby użytkowników pomieszczenia. Ten typ kontroli może być stosowany ze szczególnym powodzeniem w pomieszczeniach, w których przebywa od 7 do 20 osób na 100 m². Jest też idealny, gdy zagęszczenie w pomieszczeniu jest zmienne, bądź trudno je przewidzieć. Za przykłady mogą posłużyć bary, restauracje, duże sale konferencyjne, klasy, sale sądowe, pokoje wypoczynkowe.

3. Kontrola oparta na tempie zwiększania się stężenia CO₂ (PID)

W nowoczesnych budynkach prosta kontrola punktowa lub proporcjonalna dwutlenku węgla może być niewystarczająca. W tym przypadku rozwiązaniem jest procedura PID (Proportional-Integral-Derivative control) czyli procedura proporcjonalno-całkująco-różniczkująca. Uwzględnia ona kilka czynników: różnicę między aktualną wartością stężenia CO₂, a wartością zadaną, jak długo wartość aktualna jest zgodna z wartością zadaną, oraz jak szybko wartości mierzone zbliżają się bądź oddalają od wartości zadanej. Przykładowo, na początku dnia system oparty na procedurze PID reagując na zwiększającą się liczbę ludzi pojawiających się w budynku, w ciągu kilku minut dostosowuje wydajność wentylacji nie tylko do aktualnej sytuacji, ale też do jej zmian w czasie.

Tak jak system proporcjonalny, kontroler typu PID może pracować wykorzystując liniowe wyjście sensora CO₂. Algorytmy typu PID są obecnie wykorzystywane przez większość nowoczesnych systemów kontroli instalowanych w budynkach. Procedury typu PID znajdują zastosowanie w budynkach charakteryzujących się dużą ilością pomieszczeń z małym, silnie zróżnicowanym w czasie zagęszczeniem, które trudno z góry zdefiniować. Prawidłowo użyta procedura PID zapewnia szybkie dostosowanie wydajności systemu wentylacyjnego do zmieniającego się zagęszczenia.

■ CO NALEŻY UWZGLĘDNIĆ PRZY STEROWANIU SYSTEMAMI WENTYLACYJNYMI?

1. Należy pamiętać o stałym wentylowaniu pomieszczeń z minimalną intensywnością (np. 20% intensywności nominalnej) dla usunięcia zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł niezależnych od obecności użytkowników.
2. Wybrać strategię kontroli w oparciu o zagęszczenie i jego zmienność:
 - niskie zagęszczenie (7 lub mniej osób/100 m³) – kontrola typu PID;
 - silnie zmienne zagęszczenie (zmiany nieprzewidywalne, powyżej 25%) – kontrola proporcjonalna lub PID;
 - średnie zagęszczenie (7–20 osób/100 m³) – kontrola proporcjonalna;
 - silne zagęszczenie (20–50 osób/100 m³) – kontrola punktowa lub proporcjonalna.
3. W przypadku kontroli typu proporcjonalnego lub PID, jako punkt odniesienia należy przyjąć 100 ppm powyżej wartości stężenia zewnętrznego CO₂.

■ NDIR – GWARANCJA DOKŁADNEGO I SELEKTYWNEGO POMIARU CO₂

Współcześnie, do pomiaru stężenia CO₂ stosuje się sensory działające w oparciu o pomiar pochłaniania nierozproszonego strumienia podczerwieni (Non-Dispersive Infra Red, NDIR). W sensorze tego typu strumień podczerwieni wytwarzany przez źródło jest odbijany wielokrotnie w komorze pomiarowej i absorbowany przez CO₂ zawarty w dyfundującym do niej gazie. Pomiar natężenia promieniowania podczerwonego odbywa się za pośrednictwem odpowiedniego detektora. Pochodzący z niego sygnał jest następnie przetwarzany przez procesor i wprowadzany na wyjście w postaci sygnału sterującego.

Opatentowana KOMORA POMIAROWA z wykładziną lustrzaną – wielokrotnie zwiększa drogę optyczną

Dyfuzyjny FILTR MOLEKULARNY (bariera dla cząstek kurzu i wilgoci przy naturalnej dyfuzji gazu)

FILTR PODCZERWIENI, selektywny dla charakterystycznej długości fali gazu mierzonego

MIKROPROCESOR z procedurą autokalibracji długookresowej

ŹRÓDŁO ŚWIATŁA (podczerwieni) stabilizowane, o wysokiej trwałości

DETEKTOR PODCZERWIENI stabilizowany temperaturowo

Sygnał wyjściowy

Rys. 5. Schemat sensora CO₂ typu NDIR firmy Senseair.

■ KONTROLERY CO₂ SERII aSENSE I eSENSE

Obecnie, firma GAZEX oferuje całą gamę kontrolerów CO₂ typu NDIR wykorzystywanych do sterowania wentylacją. Najbardziej rozwiniętą konstrukcją są wielofunkcyjne kontrolery typu aSENSE. Oprócz sensora CO₂ (możliwe zakresy stężeń: 0,3; 0,6; 4,0; 10 %) do układu podłączony jest również czujnik temperatury, a także, opcjonalnie, czujnik CO w sterownikach wentylacji stosowanych w garażach podziemnych, O₂ w urządzeniach do kontroli składu atmosfery w przechowalniach owoców lub wilgotności względnej w pieczarkarniach i szklarniach. Wbudowane są cztery porty wyjścia: dwa porty analogowe, napięciowe (0–10 V lub 2–10 V) lub prądowe (0–20 mA lub 4–20 mA), jedno wyjście stykowe i jedno typu OC (open collector). Całość jest sterowana procesorem, a bogato rozbudowane oprogramowanie pozwala na dostosowanie wewnętrznej struktury kontrolera do bardzo odmiennych wymagań klientów.

Najprostszą konstrukcją charakteryzują się kontrolery CO₂ z rodziny eSENSE. Zintegrowany układ elektroniczny składa się z sensora CO₂, modułu zasilania procesora obsługującego sensor i portu wyjścia analogowego 0–10 V oraz (opcjonalnie) wyświetlacza. Ten wyjątkowo tani kontroler realizuje tylko jedną funkcję – generuje sygnał napięciowy proporcjonalny do aktualnego stężenia CO₂ w otaczającym powietrzu. W wersji podstawowej sensor pracuje w zakresie 0–2000 ppm, możliwe są jednak inne zakresy pracy, aż do 20 % CO₂. Kontroler eSENSE może być wykorzystany bezpośrednio do sterowania siłownikiem klap wentylacyjnych lub jako czujnik CO₂ podłączany do centrali wentylacyjnej. Kontrolery eSENSE dostępne są także w obudowie do montażu bezpośrednio w kanale wentylacyjnym.

■ EKONOMICZNY KONTROLER CO₂ AirTECH eko

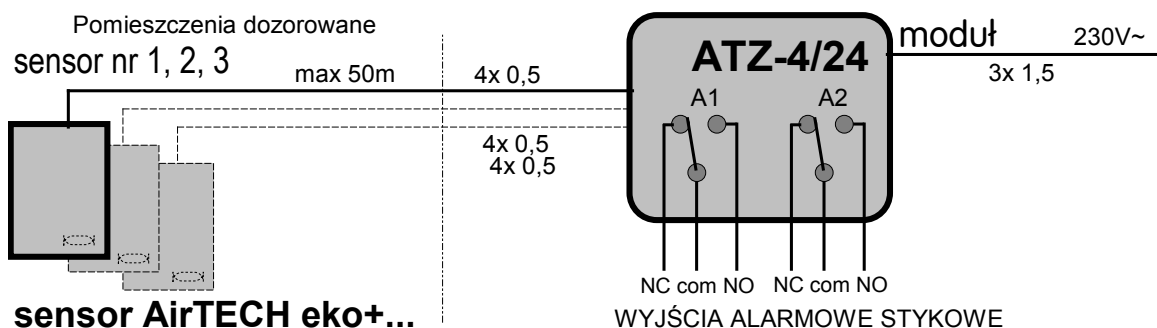
Kontroler AirTECH eko składa się z dwóch elementów: sensora CO₂ w estetycznej obudowie naściennej (do montażu w monitorowanym pomieszczeniu) i modułu zasilająco-sterującego (do montażu w pobliżu wentylatorów) połączonych czterżyłowym przewodem (telefonicznym lub UTP – „skrętką” komputerową). W kontrolerze zastosowano nowoczesny, miniaturowy, bezobsługowy sensor dwutlenku węgla typu NDIR. Sensory tego typu są bardzo selektywne tzn. pomiar nie jest zakłócany przez inne gazy, są całkowicie odporne na przekroczenie zakresu pomiarowego, charakteryzuje je duża trwałość i żywotność (powyżej 10 lat). Wbudowana unikalna procedura auto-kalibracji zapewnia bezobsługowość przez przynajmniej 3 lata. Zakres pomiarowy sensora zastosowanego w kontrolerze AirTECH eko wynosi 0–2000 ppm. W wersji standardowej, kontroler jest wyposażony w sygnalizację optyczną. Są to lampki LED: jedna zielona (zasilanie) i dwie czerwone; pierwsza sygnalizuje przekroczenie stężenia 800 ppm, a druga przekroczenie 1400 ppm CO₂. Ustawienie



Fot. 1. Ekonomiczny kontroler AirTECH eko do punkowego sterowania wentylacją (wersja bez wyświetlacza).

progów jest fabryczne, może być jednak zmienione na życzenie użytkownika. Opcjonalnie kontroler może być wyposażony w wyświetlacz pokazujący aktualne stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu oraz syrenkę sygnalizującą przekroczenie stężenia CO₂ wybranego progu.

Moduł zasilająco-sterujący kontrolera posiada szczelną obudowę z bezdławicowymi przepustami kablowymi. Moduł jest zasilany z sieci energetycznej 230 V~. Funkcja sterownicza modułu jest realizowana za pośrednictwem dwóch wyjść przełącznikowych (zwykłych) o maksymalnym obciążeniu do 2A przy obciążeniu rezystancyjnym lub indukcyjnym (silniki). Wyjścia przełącznikowe są sterowane sygnałem z sensora, zwierną się odpowiednio przy przekroczeniu pierwszego progu alarmowego (800 ppm – podwyższona jakość powietrza wewnętrznego) i drugiego progu alarmowego (1400 ppm – standardowa jakość powietrza). Wyjścia służą do bezpośredniego sterowania wentylatorami lub do przekazania informacji o stanie atmosfery wewnętrznej do systemu zarządzania budynkiem.



Rys. 6. Schemat połączeń kontrolera AirTECH eko.

■ INNE POWODY, DLA KTÓRYCH NALEŻY MONITOROWAĆ STĘŻENIE CO₂

- Dwutlenek węgla (wg aktualnej nomenklatury chemicznej – ditlenek węgla) **jest uwzględniony w tabeli substancji toksycznych** (Rozp. MPiPS z dnia 29.11.2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U.2002 nr 212 poz. 1833), **NDS = 9000 mg/m³** (ok. 5000 ppm) i **NDSch = 27000 mg/ m³** (ok. 15000 ppm). Pomiar stężenia CO₂ pod kątem zagrożenia dla zdrowia i życia jest prowadzony w browarach, gorzelniach, paczkowniach kawy i innych zakładach, gdzie dwutlenek węgla jest produktem lub nośnikiem w procesach technologicznych.
- **Dwutlenek węgla powinien być monitorowany w garażach podziemnych.** Jest to bowiem główny, nieobojętny dla zdrowia, składnik spalin wydzielanych podczas pracy silnika. W dobie powszechnego stosowania w samochodach osobowych katalizatorów ograniczających emisję tlenu węgla i węglowodorów, dwutlenek węgla staje się jedynym składnikiem, który nie może być zneutralizowany przez katalizator. Staje się to poważnym problemem w coraz bardziej zagłębionych garażach budynków użyteczności publicznej.
- Dwutlenek węgla **jest gazem agresywnym chemicznie** i powoduje tzw. karbonizację betonu oraz korozję węglanową, co jest szczególnie groźne dla konstrukcji żelbetowych. Najbardziej zagrożone są hale, w których prowadzone są procesy organiczne, w szczególności fermentacyjne, a także pomieszczenia znajdujące się pod powierzchnią gruntu, np. komory zaworów cieplnych. Przyjmuje się, że stężenie dwutlenku węgla w konstrukcjach podziemnych nie powinno przekraczać **1980 mg/m³ (ok. 1000 ppm)**.
- Stężenie dwutlenku węgla kontroluje się przy **produkcji żywności**:
 - CO₂ stosuje się do **dokarmiania roślin** w szklarniach (warzywa, kwiaty);
 - odpowiednie stężenie dwutlenku węgla (i tlenu) zapewnia **długotrwałe przechowywanie owoców i warzyw w przechowalniach**;
 - optymalne stężenie CO₂ warunkuje wysoki plon i jakość **pieczarek i boczniaka**;
 - przy **produkcji zwierzęcej**, szczególnie w drobiarniach, sterowanie wentylacją zapewnia dostęp świeżego powietrza, oszczędność energii na ogrzewanie i zapobiega chorobom zwierząt.
- Dwutlenek węgla **jest jednym z gazów cieplarnianych**, odpowiedzialnych za globalne ocieplanie się klimatu. Dlatego – zgodnie z podpisanymi przez Polskę umowami międzynarodowymi – jego stężenie powinno być mierzone w ramach Programów Kompleksowego Monitoringu Środowiska.
- Dwutlenek węgla, jako produkt przemian biochemicznych **jest wskaźnikiem aktywności organizmów żywych** w badaniach biologicznych (fizjologia roślin i zwierząt), rolniczych (gleboznawstwo), ochronie środowiska (oczyszczalnie ścieków i wysypiska śmieci).