Jakość powietrza

Pył, CO2, korozja elektroniki i własny moduł.

- Jakość powietrza: rodzaje czujników, zasada działania i własny moduł (DIY)

Jakość powietrza: rodzaje czujników, zasada działania i własny moduł (DIY)

Poziom: średnio

Dotyczy: pył PM2.5 i PM10, CO2, gazy korozyjne, klasy ISA 71.04, filtry, ESP32 (Olimex ESP32-POE), ESPHome 2026.6, SPS30, SCD41, Zabbix 7.0 LTS

Czas: ~90 min

Powietrze w serwerowni mierzymy rzadziej niż temperaturę, a niszczy sprzęt po cichu: kurz osiada na radiatorach, a gazy z siarką zjadają miedź i srebro. Na tej stronie poznajemy czujniki pyłu i CO2, klasy korozyjności powietrza oraz budujemy moduł `esp07`, który zbiera oba odczyty do Zabbixa na `mon01`. Wracamy tu przy wyborze czujnika i przy ustalaniu progów, które mają sens dla naszej serwerowni.

Skróty użyte na tej stronie (38)

Skrót	Co znaczy
API	Application Programming Interface: sposób, w jaki programy rozmawiają ze sobą
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: amerykańskie stowarzyszenie inżynierów, którego zalecenia opisują temperaturę i wilgotność w serwerowniach
CO2	Dwutlenek węgla: gaz, który wydychamy, a jego stężenie w pomieszczeniu pokazuje, jak bardzo powietrze zużyli ludzie i czy trzeba wietrzyć
DCIM	Data Center Infrastructure Management: dokumentacja tego, co fizycznie stoi w serwerowni, czyli szafy, urządzenia i okablowanie
eCO2	equivalent CO2: wartość CO2 szacowana przez tani moduł z lotnych związków organicznych, a nie zmierzona czujnikiem CO2
ESP32	Tani mikrokontroler z Wi-Fi i Bluetooth firmy Espressif: malutki komputer, z którego budujemy własne czujniki sieciowe
ESPHome	Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć
HTTP	Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW

Skrót	Co znaczy
I2C	Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem
ISA	International Society of Automation: organizacja, która wydaje normę ISA 71.04 z klasami korozyjności powietrza G1 do GX
ISO	International Organization for Standardization: organizacja, która wydaje normy techniczne używane na całym świecie
IT	Information Technology: dział albo praca związana z komputerami i infrastrukturą firmy
JSON	JavaScript Object Notation: tekstowy format danych z klamrami i cudzysłowami
JSONPath	Zapis ścieżki, która wskazuje jedną wartość w dokumencie JSON, np. $.value to pole value na samym wierzchu
LTS	Long Term Support: wersja z długim wsparciem poprawkami
MERV	Minimum Efficiency Reporting Value: amerykańska skala skuteczności filtrów powietrza, im wyższa liczba, tym drobniejsze cząstki filtr zatrzymuje
NDIR	NonDispersive InfraRed: czujnik gazu mierzący, ile podczerwieni pochłania gaz w komorze, z filtrem wybierającym jedną długość fali, typowy dla czujników CO2
NDS	Najwyższe Dopuszczalne Stężenie: średnia ważona substancji w powietrzu w miejscu pracy przez 8 godzin, według polskiego rozporządzenia
NDSCh	Najwyższe Dopuszczalne Stężenie Chwilowe: stężenie substancji, którego nie wolno przekroczyć w krótkim okresie pracy, według polskiego rozporządzenia
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration: amerykańska agencja, której stacja na Mauna Loa podaje bieżące stężenie CO2 w atmosferze
PM10	Particulate Matter 10: pył zawieszony o cząstkach do 10 mikrometrów, podawany w mikrogramach na metr sześcienny powietrza
PM2.5	Particulate Matter 2.5: pył zawieszony o cząstkach do 2,5 mikrometra, podawany w mikrogramach na metr sześcienny powietrza
PMS5003	Tani laserowy czujnik pyłu na łączu szeregowym, mierzący PM1.0, PM2.5 i PM10, z laserem o żywotności około 8000 godzin
PN-EN	Polska Norma będąca wersją normy europejskiej, np. PN-EN 54 dla elementów systemów sygnalizacji pożaru
PoE	Power over Ethernet: zasilanie urządzenia tym samym kablem sieciowym, którym płyną dane
ppm	parts per million: części na milion, miara bardzo małych stężeń gazu w powietrzu
SCD41	Czujnik CO2 firmy Sensirion działający metodą fotoakustyczną, z wyjściem I2C pod adresem 0x62, mierzy też temperaturę i wilgotność
SCL	Serial Clock: przewód zegarowy magistrali I2C, który wyznacza rytm, w jakim odczytujemy bity z przewodu danych
SDA	Serial Data: przewód danych magistrali I2C, którym czujnik i mikrokontroler wymieniają bity

Skrót	Co znaczy
SEL	Select: pin wyboru interfejsu czujnika pyłu SPS30, który po połączeniu z masą włącza komunikację I2C
SNMP	Simple Network Management Protocol: protokół odczytu stanu urządzeń sieciowych
SPS30	Czujnik pyłu firmy Sensirion z laserem i wentylatorem, mierzy PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10 przez I2C pod adresem 0x69
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter: łącze szeregowe z dwoma przewodami (nadawanie i odbiór), którym płytka rozmawia na przykład z czujnikiem pyłu PMS5003
UEXT	Universal EXTension: małe złącze na płytce Olimex ESP32-POE, które wyprowadza magistralę I2C, UART i zasilanie do podłączania czujników
URAS	Ultra Red Absorption Recorder: analizator gazów z 1938 roku, pierwszy przyrząd, który na bieżąco mierzył stężenie wielu gazów przez pochłanianie podczerwieni
URL	Uniform Resource Locator: adres strony lub zasobu
USB	Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne
WHO	World Health Organization: Światowa Organizacja Zdrowia, która w 2021 roku zaktualizowała wytyczne dla pyłu PM2.5 i PM10

Fiszka

Dłuższe wyjaśnienie, dlaczego akurat te czujniki, daje reszta strony. Instalację ESPHome i generowanie klucza API opisuje strona Czujniki zalania w praktyce: wybór, montaż i własna sonda (DIY), więc tutaj podajemy tylko to, co jest inne dla modułu `esp07`.

□□ TYLKO ODCZYT

Plik z hasłami: secrets.yaml

```
# secrets.yaml, obok pliku esp07-powietrze.yaml
api_klucz: "orfoDVMo3Ln/jJwv1fgGAAmaxrecACQA4qY2FctDiIs="
ota_haslo: "HasloOta"
web_uzytkownik: "nazwa_usera"
web_haslo: "HasloWebServera"
```

Klucz w przykładzie jest poprawny składniowo, ale publiczny, bo stoi na tej stronie. Na prawdziwej płytce używamy własnego klucza z polecenia `openssl rand -base64 32`, a pozostałe wartości to placeholdery do podmiany.

PLIK KONFIGURACYJNY

Plik konfiguracyjny ESPHome: esp07-powietrze.yaml

```
esphome:
  name: esp07
  friendly_name: Jakość powietrza

esp32:
  board: esp32-poe
  framework:
    type: esp-idf

logger:

# Ethernet z PoE: ustawienia dla Olimex ESP32-POE (wariant ISO ma te same piny)
ethernet:
  type: LAN8720
  mdc_pin: GPIO23
  mdio_pin: GPIO18
  clk:
    pin: GPIO17
    mode: CLK_OUT
  phy_addr: 0
  power_pin: GPIO12
  manual_ip:
    static_ip: 10.20.10.74
    gateway: 10.20.10.1
    subnet: 255.255.255.0
    dns1: 10.20.10.11

# Bez klienta API (Home Assistant) płytka restartowałaby się co 15 minut,
# a Zabbix czyta dane przez web_server, więc wyłączamy ten restart.
api:
  encryption:
    key: !secret api_klucz
  reboot_timeout: 0s

ota:
```

```
  - platform: esphome
    password: !secret ota_haslo

web_server:
  port: 80
  auth:
    username: !secret web_uzytkownik
    password: !secret web_haslo

# Magistrala I2C na pinach z gniazda UEXT. SPS30 wymaga częstotliwości do 100 kHz.
i2c:
  sda: GPIO13
  scl: GPIO16
  frequency: 100kHz
  scan: true

sensor:
  # Pył: SPS30 pod adresem 0x69. Czyszczenie wentylatora co 168 godzin (tydzień).
  - platform: sps30
    address: 0x69
    pm_1_0:
      name: "pyl_pm1"
    pm_2_5:
      name: "pyl_pm25"
    pm_4_0:
      name: "pyl_pm4"
    pm_10_0:
      name: "pyl_pm10"
    update_interval: 60s
    auto_cleaning_interval: 168h

  # CO2: SCD41 pod adresem 0x62. Temperatura i wilgotność z tego czujnika to tylko
dodatek.
  - platform: scd4x
    co2:
      name: "co2_ppm"
    temperature:
      name: "co2_temperatura"
    humidity:
```

```
    name: "co2_wilgotnosc"
  update_interval: 60s
  automatic_self_calibration: false

- platform: uptime
  name: "esp07_uptime"
  update_interval: 60s
```

Plik opisuje płytkę Olimex ESP32-POE z Ethernetem i zasilaniem PoE, szyfrowane API, aktualizacje przez sieć i prosty serwer HTTP, a do tego dwa czujniki na wspólnej magistrali I2C: SPS30 dla pyłu i SCD41 dla CO2 [1][2][3][4]. Piny I2C to GPIO13 i GPIO16 ze złącza UEXT płytki, bo pozostałe wolne piny zajmują inne moduły. Nazwy encji nie mają spacji ani polskich liter, bo wchodzą do adresu URL [5].

Wyłączyliśmy automatyczną samokalibrację czujnika CO2 (`automatic_self_calibration: false`). Według karty katalogowej wymaga ona co tydzień powietrza o stężeniu około 400 ppm, a w zamkniętej serwerowni tego powietrza nie ma, więc czujnik zaniżałby odczyty [6]. Zamiast niej raz na pół roku porównujemy odczyt z powietrzem z zewnątrz, jak opisujemy w sekcji o kalibracji.

ESPHome = Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć · **PoE** = Power over Ethernet: zasilanie urządzenia tym samym kablem sieciowym, którym płyną dane · **API** = Application Programming Interface: sposób, w jaki programy rozmawiają ze sobą · **HTTP** = Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW · **I2C** = Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem · **SPS30** = Czujnik pyłu firmy Sensirion z laserem i wentylatorem, mierzy PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10 przez I2C pod adresem 0x69 · **SCD41** = Czujnik CO2 firmy Sensirion działający metodą fotoakustyczną, z wyjściem I2C pod adresem 0x62, mierzy też temperaturę i wilgotność · **CO2** = Dwutlenek węgla: gaz, który wydychamy, a jego stężenie w pomieszczeniu pokazuje, jak bardzo powietrze zużyli ludzie i czy trzeba wietrzyć

TYLKO ODCZYT

Sprawdzenie pliku: esphome config esp07-powietrze.yaml

```
esphome config esp07-powietrze.yaml
```

Polecenie wczytuje plik wraz z `secrets.yaml`, sprawdza składnię i niczego nie wgrywa. Kończy się komunikatem `Configuration is valid!`, a o pinie GPIO12 wypisuje ostrzeżenie o pinach rozruchowych, które jest tu znane, bo GPIO12 zasila układ Ethernet płytki Olimex [2]. Plik sprawdziliśmy na wersji 2026.6.5, ale płytki z czujnikami nie uruchamialiśmy, więc odczyty z tej strony traktujemy jako procedurę do przetestowania.

esphome = ESPHome: buduje i wgrywa oprogramowanie na ESP32 z pliku YAML, pokazuje logi urządzenia

TYLKO ODCZYT

Wgranie programu przez USB: esphome run esp07-powietrze.yaml

```
esphome run esp07-powietrze.yaml
```

Przy pierwszym wgraniu płytkę podłączamy kablem USB do stacji administratora, a kolejne aktualizacje idą przez sieć. W dzienniku sprawdzamy, że magistrala I2C widzi dwa urządzenia: pod adresami 0x69 i 0x62.

USB = Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne · **I2C** = Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem · **esphome** = ESPHome: buduje i wgrywa oprogramowanie na ESP32 z pliku YAML, pokazuje logi urządzenia

TYLKO ODCZYT

Odczyt pyłu przez REST: curl

```
curl --user nazwa_usera http://10.20.10.74/sensor/pyl_pm25
```

Przy takim zapisie `curl` pyta o hasło, więc nie zostaje ono w historii poleceń. Odpowiedź to obiekt JSON z polem `value`, które Zabbix wyciąga w dalszych krokach [5].

Przykładowy zapis (liczby zmyślone, dokładny zapis pola `id` zależy od wersji ESPHome):

```
{"id":"sensor/pyl_pm25","state":"3.2 µg/m³","value":3.2}
```

REST = sposób budowania API przez zwykłe żądania HTTP (GET, POST) zamiast osobnego protokołu · **JSON** = JavaScript Object Notation: tekstowy format danych z klamrami i cudzysłowami · **ESPHome** = Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć · **curl** = client URL: pobieranie i wysyłanie przez HTTP z terminala

TYLKO ODCZYT

Odczyt CO2 przez REST: curl

```
curl --user nazwa_usera http://10.20.10.74/sensor/co2_ppm
```

Wartość podana jest w ppm, czyli w cząstkach na milion. Świeżo po uruchomieniu czujnik potrzebuje kilku minut na ustabilizowanie, więc pierwsze odczyty pomijamy.

CO2 = Dwutlenek węgla: gaz, który wydychamy, a jego stężenie w pomieszczeniu pokazuje, jak bardzo powietrze zużyli ludzie i czy trzeba wietrzyć · **REST** = sposób budowania API przez zwykłe żądania HTTP (GET, POST) zamiast osobnego protokołu · **ppm** = parts per million: części na milion, miara bardzo małych stężeń gazu w powietrzu · **curl** = client URL: pobieranie i wysyłanie przez HTTP z terminala

Z życia wzięte

Z ŻYCIA WZIĘTE

Wtorek, 10:15. Obok serwerowni ekipa remontuje magazyn kablowy i przytrzymuje drzwi serwerowni klinem, żeby przeciągnąć przewód. Tomek widzi w Zabbixie dwa ostrzeżenia naraz: drzwi otwarte dłużej niż 5 minut i pył PM2.5 na poziomie 38 µg/m³ przy zwykłych 3 do 5. Idzie do serwerowni, wyjmuje klin i dopisuje do notatek, że po remoncie sprawdzimy filtry klimatyzacji. Po godzinie wykres wraca do zwykłej wartości, ale pył zdążył osiąść na wlotach szaf R1 i R2.

Skąd się wzięło

Jakość powietrza mierzono najpierw dla ludzi, a nie dla komputerów. Niemiecki chemik Max von Pettenkofer ustalił w 1858 roku, że stężenie dwutlenku węgla około 1000 ppm odpowiada powietrzu, w którym ludzie zaczynają odczuwać zmęczenie, a wartość ta do dziś nazywa się granicą Pettenkofera [7]. Nie jest to próg zatrucia, tylko wskaźnik tego, jak bardzo pomieszczenie wymaga wietrzenia.

Max von Pettenkofer, chemik i higienista z Monachium. Jego pomiary CO2 w pomieszczeniach dały r

Max von Pettenkofer, chemik i higienista z Monachium. Jego pomiary CO2 w pomieszczeniach dały nam wartość 1000 ppm, którą do dziś traktujemy jak umowną granicę świeżości powietrza.

Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Pomiar pyłu opiera się na rozpraszaniu światła. John Tyndall odkrył zasady rozpraszania światła na cząstkach w 1859 roku, a w 1947 roku Frank Gucker zbudował z tego maszynę, która liczy cząstki

w powietrzu [8]. W 1962 roku Willis Whitfield wynalazł nowoczesny czysty pokój, czyli pomieszczenie z kontrolowaną liczbą cząstek w powietrzu [8]. To z jego prac wyrosły klasy czystości, do których odwołują się wytyczne dla serwerowni.

Wykres wielkości cząstek zawieszonych w powietrzu na tle pyłu, dymu, pyłków i mgły. Taki wykres t

Wykres wielkości cząstek zawieszonych w powietrzu na tle pyłu, dymu, pyłków i mgły. Taki wykres tłumaczy, dlaczego mówimy o PM2.5 i PM10, a nie o jednej wartości pyłu. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Czujnik CO2 ma korzenie w chemii przemysłowej. W 1938 roku Erwin Lehrer i Karl Friedrich Luft z BASF w Niemczech opracowali analizator URAS, według jego producenta pierwszy, który natychmiast mierzył stężenie wielu gazów [9]. Zasada, czyli pochłanianie podczerwieni, jest ta sama w dzisiejszych czujnikach CO2 wielkości paznokcia.

Rodzaje i zasada działania

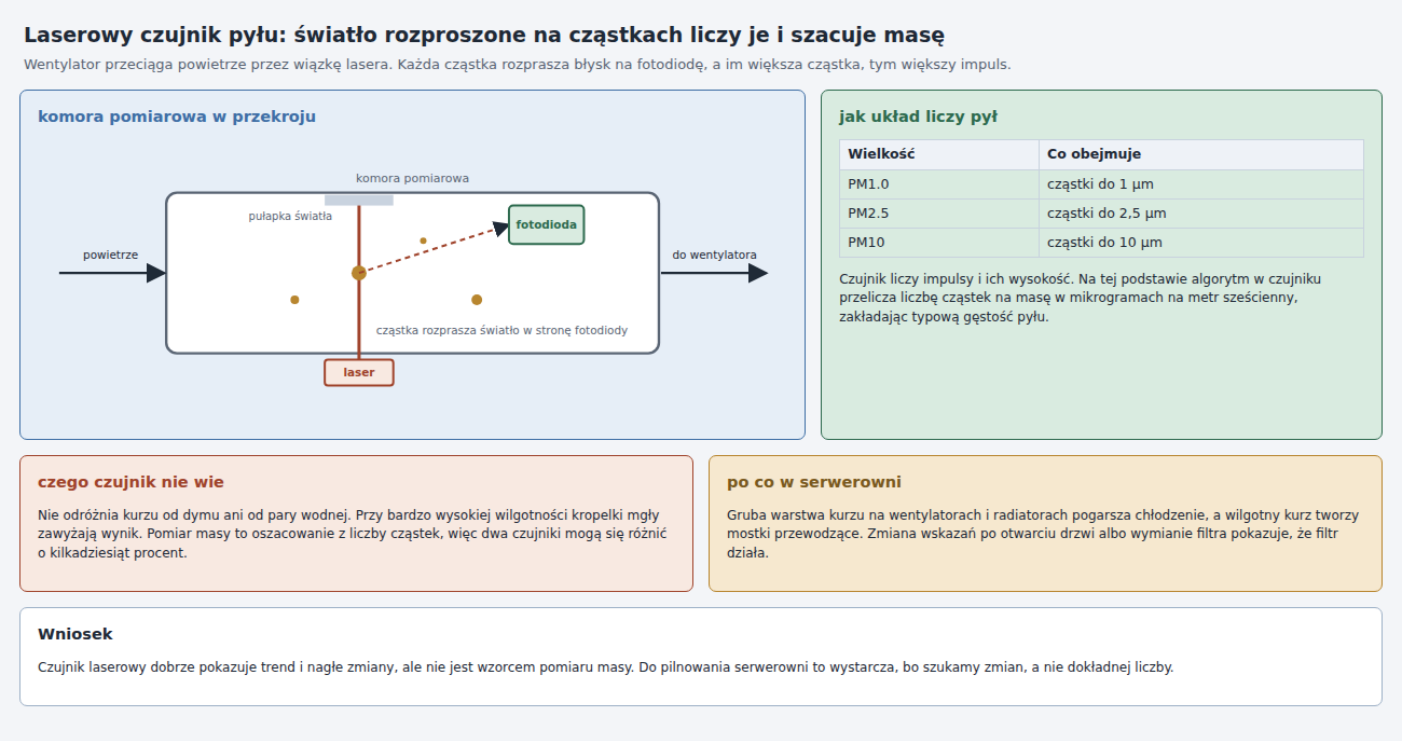
Pojęcie: PM2.5 i PM10. Skróty od angielskiego particulate matter, czyli pył zawieszony. Liczba oznacza największą średnicę cząstek w mikrometrach, więc PM2.5 to cząstki do 2,5 µm, a PM10 do 10 µm. Wynik podajemy w mikrogramach na metr sześcienny powietrza [10].

Pojęcie: ppm. Jednostka stężenia gazu, czyli liczba cząstek gazu na milion cząstek powietrza. Stężenie CO2 w powietrzu zewnętrznym wynosi obecnie około 430 ppm, a w pomieszczeniu z ludźmi rośnie, bo oddychamy [11].

Pojęcie: powietrze korozyjne. Powietrze z gazami, które reagują z metalami w elektronice, głównie ze związkami siarki i chloru. Skutkiem są cienkie warstwy produktów korozji na miedzi i srebrze, które z czasem zwiększają opór styków i uszkadzają ścieżki.

Czujnik pyłu: laser i fotodioda

Pojęcie: laserowy czujnik pyłu. Czujnik, w którym wentylator przeciąga powietrze przez wiązkę lasera, a każda cząstka rozprasza błysk światła na fotodiodę. Układ liczy impulsy i ich wysokość, a algorytm w czujniku przelicza je na masę w mikrogramach na metr sześcienny.



Rysunek 1. Laserowy czujnik pyłu: komora z laserem, wentylatorem i fotodiodą oraz tabela wielkości PM1.0, PM2.5 i PM10. Warto zauważyć, że czujnik liczy cząstki i szacuje masę, więc dobrze pokazuje trend, a gorzej wartość bezwzględną. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Czujnik SPS30 firmy Sensirion mierzy w zakresie 0 do 1000 µg/m³ i rozróżnia frakcje PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10 dla cząstek od 0,3 µm [12]. Dokładność dla PM2.5 wynosi plus minus 10 µg/m³ w zakresie do 100 µg/m³, a dla PM10 plus minus 25 µg/m³, więc w czystym powietrzu różnice rzędu kilku mikrogramów mieszczą się w błędzie [12]. Producent podaje żywotność ponad 10 lat pracy ciągłej i wentylator o automatycznym czyszczeniu co 168 godzin [12].

Zakres i dokładność: według karty SPS30 zakres 0 do 1000 µg/m³, a dokładność zależy od frakcji i poziomu stężenia [12]. Czas reakcji: zależy od uśredniania w czujniku, a w naszym module odczyt co 60 sekund wystarcza do wykrycia zapylenia. *Zalety: tani, mały, bez konserwacji, widzi nagłe zmiany, takie jak remont albo wymiana filtra.* Wady: nie odróżnia kurzu od dymu ani od pary wodnej, a przy bardzo wysokiej wilgotności kropelki mgły zawyżają wynik. * Gdzie: serwerownie, biura, hale, mieszkania i przy filtrach klimatyzacji.

ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

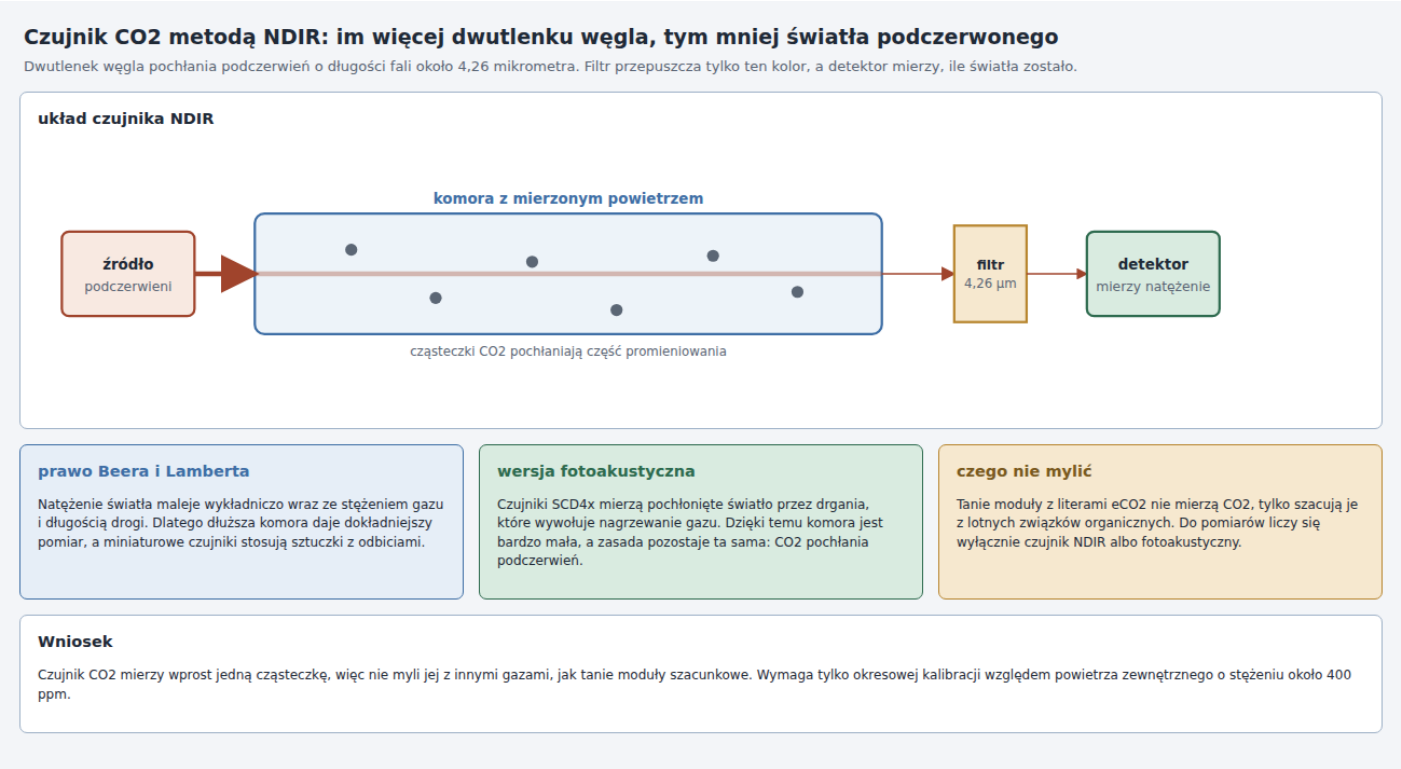
Zdjęcie do zrobienia: czujnik SPS30 i jego wlot oraz wylot powietrza na tle linijki, ze złączem do płytki.

Tańsza alternatywa to PMS5003, czujnik tej samej zasady na łączu szeregowym. ESPHome podaje, że laser w takim czujniku ma żywotność około 8000 godzin, czyli niecały rok pracy ciągłej, więc przy czytaniu co 120 sekund czujnik jest usypiany między odczytami [13]. Dlatego w serwerowni

wolimy SPS30, a PMS5003 opisujemy jako wariant.

Czujnik CO2: podczerwień i fotoakustyka

> **Pojęcie: czujnik NDIR.** Czujnik, który mierzy stężenie gazu przez pochłanianie podczerwieni. Skrót oznacza nierozproszoną podczerwień, czyli układ bez pryzmatu i siatki, w którym długość fali wybiera filtr. Dla CO2 używamy fali około 4,26 µm, bo w tym zakresie dwutlenek węgla pochłania światło silnie [14].



Rysunek 2. Czujnik CO2 metodą NDIR: źródło podczerwieni, komora z powietrzem, filtr 4,26 µm i detektor oraz wersja fotoakustyczna. Warto zauważyć, że im więcej CO2 w komorze, tym mniej światła dociera do detektora. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Prawo Beera i Lamberta mówi, że światło słabnie wykładniczo wraz ze stężeniem gazu i długością drogi. Dlatego dłuższa komora daje dokładniejszy pomiar, a miniaturowe czujniki stosują sztuczki z odbiciami. SCD4x firmy Sensirion mierzy pochłonięte światło przez drgania, które wywołuje nagrzewanie gazu, więc komora może być mała, a zasada pozostaje ta sama [6][15].

Czujnik SCD30 firmy Sensirion, starszy członek rodziny czujników CO2, wilgotności i temperatury. SC

Czujnik SCD30 firmy Sensirion, starszy członek rodziny czujników CO2, wilgotności i temperatury. SCD41, który stosujemy, jest znacznie mniejszy, ale ma tę samą zasadę pomiaru. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Zakres i dokładność: SCD40 mierzy z dokładnością plus minus 50 ppm plus 5% odczytu w zakresie 400 do 2000 ppm, a SCD41 ma węższe widełki do 1000 ppm i działa do 5000 ppm [6]. Czas reakcji: pomiar co 5 sekund w trybie ciągłym, a czas narastania odczytu około 60 sekund [6]. *Zalety: mierzy CO2 wprost, nie myli go z innymi gazami, ma małe rozmiary i zasilanie od 2,4 do 5,5 V.* Wady: wymaga okresowej kalibracji względem powietrza zewnętrznego, a przy samokalibracji w zamkniętym pomieszczeniu zaniża wyniki. * Gdzie: sale z ludźmi, biura, sale konferencyjne, wentylowane pomieszczenia, serwerownia jako dodatkowy wskaźnik wentylacji i obecności.

Tanie moduły z literami eCO2 nie mierzą CO2, tylko szacują je z lotnych związków organicznych, więc przy pomiarach, na których opieramy decyzję, stosujemy wyłącznie czujniki NDIR albo fotoakustyczne.

Gazy korozyjne i klasy ISA 71.04

Kurz widać, a gazy korozyjne nie. Według Purafil, producenta filtrów chemicznych, najczęściej sprawcami są związki siarki (siarkowodór i dwutlenek siarki) oraz chlor [16]. Na miedzi i srebrze powstają warstwy siarczków albo chlorków, które widać dopiero po uszkodzeniu sprzętu.

Miedź z warstwą korozji. Podobne produkty korozji na ścieżkach i stykach elektroniki mierzy laborat

Miedź z warstwą korozji. Podobne produkty korozji na ścieżkach i stykach elektroniki mierzy laboratorium na kuponie korozyjnym. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Norma ISA 71.04-2013 (Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants) dzieli powietrze na cztery klasy według grubości warstwy korozji, jaka narasta na kuponie miedzi w ciągu 30 dni: G1 poniżej 300 angstremów, G2 do 1000, G3 do 2000 i GX powyżej 2000 [16]. Dla srebra klasa G1 oznacza poniżej 200 angstremów. Wytyczne ASHRAE TC 9.9 dla sprzętu IT zalecają klasę G1, czyli miedź poniżej 300 angstremów i srebro poniżej 200 angstremów na miesiąc [17].



Rysunek 3. Klasy korozyjności ISA 71.04: pasy G1, G2, G3 i GX dla miedzi i pas G1 dla srebra oraz zalecenie ASHRAE dla sprzętu IT. Warto zauważyć, że szerokości pasów są poglądowe, a progi srebra dla klas G2 i wyższych odczytujemy z samej normy. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

> **Pojęcie: kupon korozyjny.** Cienka płytka z miedzi albo srebra, którą kładziemy w serwerowni na miesiąc, a potem oddajemy do laboratorium, które mierzy grubość warstwy korozji. Zestaw laboratoryjny zwykle zawiera kupony obu metali, a wynik porównuje się z klasami ISA [16][18].

Kupon odpowiada na pytanie, którego czujnik pyłu i CO2 nie zada: czy powietrze zjada miedź i srebro. Zamawiamy go raz w roku i przy każdej zmianie w sąsiedztwie, na przykład po remoncie albo uruchomieniu nowej instalacji. Czujniki elektrochemiczne pojedynczych gazów istnieją, ale ich dobór i kalibrację zostawiamy specjalistom i nie opisujemy ich tutaj.

W wytycznych ASHRAE znajdujemy też pyłowy odpowiednik klas: powietrze w serwerowni powinno spełniać klasę 8 normy ISO 14644-1, a wilgotność względna nie powinna przekraczać 60%, bo powyżej niej sole w kurzu zaczynają chłonąć wodę i przewodzić prąd [17]. Nasza mapa serwerowni ostrzega przed wilgotnością dopiero powyżej 70%, bo to granica zalecana przez ASHRAE dla sprzętu, więc próg 60% dla ryzyka korozji omawiamy z autorem mapy.

Filtry i nadciśnienie

Nie wszystko, co poprawia powietrze, jest czujnikiem. Filtr wymusza czystość, a czujnik tylko pokazuje, czy działa. Klasy filtrów oznaczamy według normy ISO 16890, która od 2018 roku

zastąpiła dawną EN 779 [19]. W wytycznych dla serwerowni pojawiają się filtry klasy MERV 8 dla powietrza w pomieszczeniu oraz MERV 11 albo 13 dla powietrza doprowadzanego z zewnątrz [17].

Zakres i dokładność: klasa filtra mówi, jaką część cząstek o danej wielkości zatrzymuje, ale nie mówi, co zatrzyma gazy. Czas reakcji: nie dotyczy, bo filtr działa stale, a zabrudzenie rośnie przez tygodnie. *Zalety: tani i skuteczny, a czujnik pyłu za filtrem pokazuje, czy filtr nadal działa.* Wady: nie zatrzymuje gazów korozyjnych, do czego potrzebne są filtry chemiczne. * Gdzie: klimatyzatory serwerowni, nawiewy, wejścia z zewnątrz.

Wszystkie rodzaje w jednej tabeli

Rodzaj	Co wykrywa	Najlepszy przy	Najsłabszy przy	Typowe miejsce
Laserowy czujnik pyłu (SPS30, PMS5003)	cząstki PM1.0 do PM10	trendach, remontach, kontroli filtrów	wartościach bezwzględnych, wysokiej wilgotności	zimny korytarz, wejście, wylot nawiewu
Czujnik CO2 NDIR albo fotoakustyczny (SCD4x)	stężenie CO2	sprawdzaniu wentylacji i obecności ludzi	ciągłej pracy w zamkniętej serwerowni bez kalibracji	biura, sale, serwerownia jako wskaźnik
Moduł eCO2 z czujnikiem lotnych związków	szacunek CO2 z innych gazów	wskazaniach orientacyjnych	decyzjach, bo nie mierzy CO2	nie polecamy
Kupon korozyjny miedzi i srebra	grubość warstwy korozji, klasa G1 do GX	ocenie powietrza raz w roku	szybkich zmianach, bo wynik po miesiącu i laboratorium	serwerownia na stałe miejsce w szafie
Filtr powietrza	zatrzymuje cząstki o danej wielkości	utrzymaniu czystości	gazach korozyjnych	klimatyzatory, nawiewy

W serwerowni

W serwerowni Zielonej nie mamy powietrza z zewnątrz, bo freonowe klimatyzatory rzędowe pracują w obiegu zamkniętym, a pył i gazy wnosimy sami: z kartonami, ubraniami, remontami i otwartymi drzwiami. Dlatego pierwszym czujnikiem jest laserowy czujnik pyłu `esp07`, a drugim czujnik CO2 na tej samej płytce. Kupon korozyjny zamawiamy raz w roku, bo gazów nie widzimy bez laboratorium.

Zalecenia, które stosujemy w Zielonej i polecamy gdzie indziej:

Cel: klasa G1 dla gazów korozyjnych i klasa 8 normy ISO 14644-1 dla pyłu, zgodnie z zaleceniami ASHRAE [17]. Gdzie mierzymy: w zimnym korytarzu na wysokości środka szafy R1, bo to powietrze wchodzi do serwerów, w pewnej odległości od wylotu klimatyzatora, żeby jego strumień nie

zafałszował odczytu. *Drzwi: kurz wnoszą ludzie i otwarte drzwi, dlatego pył łączymy ze stanem drzwi z kontaktronów, a otwarte drzwi serwerowni przy remoncie traktujemy jako ryzyko dla powietrza.* Filtry klimatyzatorów: wymiana według harmonogramu serwisu (co 3 do 6 miesięcy według strony o odbiorze i serwisie klimatyzacji), a po każdym remoncie sprawdzenie po zmianie wskazań pyłu. * Kupon: umieszczamy go w szafie obok czujnika pyłu, a wynik porównujemy z klasą G1.

Czego nie robimy: nie ustawiamy czujnika pyłu przy samym wylocie klimatyzatora, nie zakładamy, że filtr wystarczy bez pomiaru, nie traktujemy czujnika CO2 jako czujnika bezpieczeństwa ludzi i nie nastawiamy się na dokładność pyłu lepszą niż plus minus kilka mikrogramów w czystym powietrzu.

Progi dla Zielonej

Dla pyłu i CO2 dopisujemy do mapy serwerowni własne, robocze progi, które po kilku tygodniach pomiarów dopasowujemy do rzeczywistych zakresów. Dla PM2.5 punktem odniesienia jest wytyczna WHO z 2021 roku: 15 µg/m³ jako średnia dobowa (a 5 µg/m³ jako średnia roczna), ale to wytyczna dla powietrza na zewnątrz, a nie granica dla sprzętu [20].

Wielkość	Próg ostrzeżenia	Próg krytyczny	Uwagi
PM2.5	powyżej 15 µg/m³ w średniej z godziny	powyżej 50 µg/m³ w średniej z 15 minut	robocze, do kalibracji po miesiącu pomiarów
CO2	powyżej 1000 ppm w średniej z 10 minut	powyżej 1500 ppm w średniej z 10 minut	1000 ppm to granica Pettenkofera [7]
Brak danych	brak odczytów przez 5 minut	brak	jak dla każdego czujnika w mapie serwerowni

Poziom krytyczny dla pyłu i CO2 wysyła tylko pocztę do zespołu IT z wyższym priorytetem, bez SMS-a i telefonu dyżurnego, bo takie zdarzenie nie grozi sprzętowi w ciągu minut. Wartości dodajemy do tabeli czujników w mapie serwerowni jako nasze ustalenie robocze. Skoki pyłu przy dymie wykrywają czujki pożarowe i system zasysający, a nie czujnik pyłu, i to one decydują o alarmie pożarowym.

Gotowe urządzenia komercyjne

Nie polecamy konkretnych marek, ale kilka klas urządzeń warto znać:

Klasa	Co robi	Uwagi
Moduł pyłu laserowego z czujnikiem CO2	pył PM i CO2 w jednej obudowie, z wyjściem sieciowym	często z interfejsem SNMP albo HTTP
Licznik cząstek laboratoryjny	liczy cząstki w kilku przedziałach wielkości, służy do klas czystości	do odbioru serwerowni i pomiarów kontrolnych

Klasa	Co robi	Uwagi
Zestaw kuponów korozyjnych z laboratorium	miedź i srebro, klasa G1 do GX	raz w roku, bez prądu
Filtr chemiczny do klimatyzatora	zatrzymuje gazy z siarką i chlorem	po stwierdzeniu klasy G2 albo gorszej
Czujnik CO2 do wentylacji (BMS)	steruje nawiewem według CO2	dla biur i sal, nie dla serwerowni

Własny moduł esp07: projekt krok po kroku

Moduł `esp07` stoi w zimnym korytarzu i mierzy pył oraz CO2 na jednej magistrali I2C. Zasilanie i sieć dostaje jednym kablem z przełącznika PoE, jak moduły `esp05` i `esp06`.

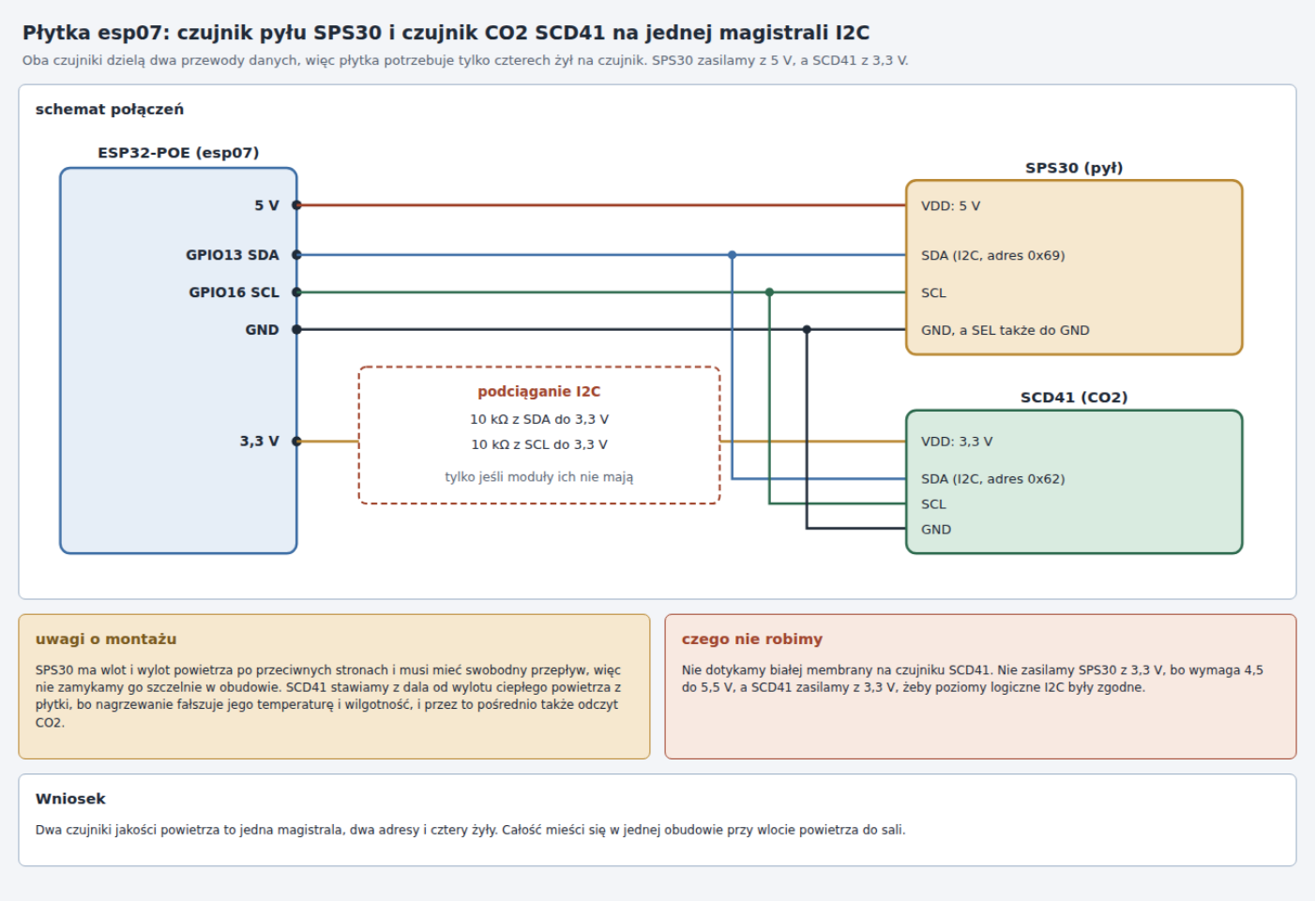
Lista części

Część	Po co	Uwagi
Olimex ESP32-POE (albo ESP32-POE-ISO)	procesor z Ethernetem i zasilaniem z przełącznika	wariant ISO ma izolację galwaniczną
Czujnik pyłu SPS30	PM1.0 do PM10	zasilanie 5 V, magistrala I2C, pin SEL do masy [12]
Czujnik CO2 SCD41 (albo SCD40)	stężenie CO2	zasilanie 3,3 V; SCD40 wystarcza do 2000 ppm [6]
Dwa rezystory 10 kΩ	podciąganie SDA i SCL	tylko jeśli moduły ich nie mają
Przewód czterożyłowy i wtyki	połączenie czujników z płytką	krótko, do kilkunastu centymetrów
Obudowa z otworami na wlot i wylot	ochrona płytki	czujnik pyłu musi mieć swobodny przepływ powietrza
Port PoE w przełączniku (802.3af)	zasilanie i sieć	ten sam typ co przy `esp05` i `esp06`
Multimetr	sprawdzenie napięć 5 V i 3,3 V	do testu przy montażu

Płytka rozwojowa ESP32, poglądowa. Używamy Olimex ESP32-POE, który ma dodatkowo złącze Ethe

Płytka rozwojowa ESP32, poglądowa. Używamy Olimex ESP32-POE, który ma dodatkowo złącze Ethernet z zasilaniem PoE. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Schemat połączeń



Rysunek 4. Schemat połączeń płytki esp07: SPS30 zasilany z 5 V i SCD41 zasilany z 3,3 V na wspólnych liniach SDA (GPIO13) i SCL (GPIO16) oraz uwagi o montażu. Warto zauważyć, że oba czujniki dzielą tylko dwa przewody danych, a adresy 0x69 i 0x62 je rozróżniają. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Oba czujniki łączymy z liniami SDA i SCL, a SPS30 dodatkowo z 5 V i z masą, przy czym jego pin SEL łączymy z masą, co wybiera tryb I2C [12]. SCD41 zasilamy z 3,3 V, bo poziomy logiczne I2C płytki to 3,3 V, więc tak unikamy konwersji poziomów. SPS30 wymaga zasilania od 4,5 do 5,5 V, więc 3,3 V nie wystarcza [12].

Wejście powietrza do SPS30 musi mieć swobodny przepływ, bo wentylator zasysa próbkę z jednej strony, a wypuszcza z drugiej. SCD41 stawiamy z dala od wylotu ciepłego powietrza z płytki, bo nagrzewanie fałszuje jego temperaturę i wilgotność, a przez to pośrednio odczyt CO2. ESPHome podaje domyślną poprawkę temperatury 4 °C i nie pozwala dotykać białej membrany czujnika [21].

ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do zrobienia: płytka esp07 w obudowie z otworami na wlot i wylot powietrza SPS30 oraz czujnikiem SCD41 z boku, z podpisanymi złączami.

Pierwsze uruchomienie i kalibracja

Po wgraniu pliku sprawdzamy w dzienniku, że magistrala I2C widzi adresy 0x69 i 0x62, a potem wykonujemy dwa `curl`: dla `pyl_pm25` i `co2_ppm`. Odczyty w czystym powietrzu mają być niskie, rzędu pojedynczych mikrogramów dla pyłu i kilkuset ppm dla CO2.

Kalibrację CO2 robimy ręcznie: raz na pół roku wynosimy płytkę na zewnątrz, czekamy kilkanaście minut i porównujemy odczyt z wartością w okolicy 430 ppm, którą podaje NOAA [11]. Jeśli różnica przekracza kilkadziesiąt ppm, wykonujemy kalibrację według procedury producenta czujnika, której nie opisujemy, bo wymaga narzędzi poza ESPHome. Czujnik pyłu nie wymaga kalibracji: wentylator czyści się automatycznie, a wzorcem kontrolnym jest porównanie z drugim czujnikiem albo z liczydłem cząstek u wykonawcy.

Pomiar	Co sprawdzamy	Oczekiwany wynik	Zapisujemy
Pył w korytarzu	odczyt PM2.5 po 10 minutach	kilka µg/m³	do uzupełnienia po teście
Pył przy otwartych drzwiach	odczyt po otwarciu drzwi na kilka minut	wzrost, potem spadek	do uzupełnienia po teście
CO2 w serwerowni	odczyt przy zamkniętych drzwiach	kilkaset ppm	do uzupełnienia po teście
CO2 na zewnątrz	odczyt po 15 minutach na dworze	około 430 ppm	do uzupełnienia po teście

Integracja z Zabbixem

Zabbix co 30 sekund pyta płytkę przez serwer HTTP ESPHome, a odpowiedź JSON ma pole `value`, które element wyciąga ścieżką JSONPath [5][22]. Host nazywamy `esp07`, dodajemy go do grupy `Czujniki środowiska` i nie dodajemy interfejsu agenta. Ścieżka w interfejsie, w której tworzymy host:

```
Data collection → Hosts → Create host
```

Na hoście ustawiamy makra:

Makro	Wartość	Po co
`{$ESP.ADRES}`	`10.20.10.74`	adres płytki
`{$ESP.UZYTKOWNIK}`	nazwa użytkownika z sekcji `web_server`	uwierzytelnianie

Makro	Wartość	Po co
`{$ESP.HASLO}`	hasło z sekcji `web_server`, typ Secret text	niewidoczne w interfejsie
`{$PYL.PM25.GODZINA}`	`15`	próg ostrzeżenia dla średniej z godziny (µg/m³)
`{$PYL.PM25.KRYT}`	`50`	próg krytyczny dla średniej z 15 minut (µg/m³)
`{$CO2.OSTRZ}`	`1000`	próg ostrzeżenia CO2 (ppm)
`{$CO2.KRYT}`	`1500`	próg krytyczny CO2 (ppm)

Wszystkie elementy mają typ HTTP agent, uwierzytelnianie podstawowe z makrami, interwał 30s i przetwarzanie wstępne JSONPath `$.value`. Typ informacji to liczba zmiennoprzecinkowa.

Nazwa	Klucz	URL
Pył PM1.0	`pyl.pm1`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/pyl_pm1`
Pył PM2.5	`pyl.pm25`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/pyl_pm25`
Pył PM4	`pyl.pm4`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/pyl_pm4`
Pył PM10	`pyl.pm10`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/pyl_pm10`
CO2	`co2.ppm`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/co2_ppm`
Wilgotność z czujnika CO2	`co2.wilgotnosc`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/co2_wilgotnosc`
Czas pracy płytki	`esp07.uptime`	`http://{$ESP.ADRES}/sensor/esp07_uptime`

Temperaturę z czujnika CO2 pomijamy w Zabbixie, bo temperaturę serwerowni mierzą dedykowane czujniki opisane na stronie o termometrach, a ten odczyt zależy od ogrzewania płytki. Wyrażenia wyzwalaczy zapisujemy w składni Zabbixa 7.0 [23]. Pył ponad 15 µg/m³ w średniej z godziny (Warning, poczta do zespołu IT):

```
avg(/esp07/pyl.pm25,1h)>{$PYL.PM25.GODZINA}
```

Pył ponad 50 µg/m³ w średniej z 15 minut (Average, poczta do zespołu IT z wyższym priorytetem):

```
avg(/esp07/pyl.pm25,15m)>{$PYL.PM25.KRYT}
```

CO2 powyżej 1000 ppm w średniej z 10 minut (Warning), a powyżej 1500 ppm (Average):

```
avg(/esp07/co2.ppm,10m)>{$CO2.OSTRZ}
avg(/esp07/co2.ppm,10m)>{$CO2.KRYT}
```

Brak danych z płytki przez 5 minut (Warning), zgodnie z zasadą z mapy serwerowni:

```
nodata(/esp07/esp07.uptime,5m)=1
```

Do Home Assistanta płytka dołącza przez natywne API, a zapis zmian pyłu i CO2 dostajemy bez dodatkowej pracy. Szczegóły dodawania urządzeń opisuje strona ESPHome i urządzenia: adopcja esp01 i esp02, API albo MQTT, nazwy encji.

Drugi wariant: PMS5003 zamiast SPS30

Tańszy PMS5003 łączymy przez UART, zamiast I2C. Zamiast sekcji `sps30` stosujemy poniższy fragment (SCD41 pozostaje na I2C, reszta pliku bez zmian). Składnię sprawdziliśmy poleceniem `esphome config`. Czujnik wymaga zasilania 5 V, a jego linie szeregowe pracują na poziomie 3,3 V.

```
uart:
  id: uart_pms
  rx_pin: GPIO32
  tx_pin: GPIO33
  baud_rate: 9600

sensor:
  # Pył: PMS5003 na linii szeregowej. Laser pracuje tylko część czasu (tryb uśpienia).
  - platform: pmsx003
    type: PMSX003
    uart_id: uart_pms
    pm_1_0:
      name: "pyl_pm1"
    pm_2_5:
      name: "pyl_pm25"
    pm_10_0:
      name: "pyl_pm10"
    update_interval: 120s
```

Linia `tx_pin` jest potrzebna, bo płytka wysyła do czujnika rozkazy usypiania. Według dokumentacji ESPHome czujnik jest usypiany między odczytami, gdy `update_interval` jest dłuższy niż 30 sekund i ustawiono `tx_pin`, a krótszy interwał skraca życie lasera [13]. Ten czujnik nie zwraca frakcji PM4, więc element `pyl.pm4` w Zabbixie pomijamy.

Bezpieczeństwo i ograniczenia

Własny moduł jest wskaźnikiem trendu, a nie przyrządem pomiarowym.

- Dokładność pyłu: czujnik laserowy szacuje masę z liczby cząstek, więc nie zastępuje licznika cząstek do odbioru serwerowni według ISO 14644-1.
- Gazy korozyjne: ani SPS30, ani SCD41 ich nie widzą, więc o klasie G1 do GX rozstrzyga kupon korozyjny z laboratorium.
- Zagrożenie dla ludzi: czujnik CO2 na płytce nie jest urządzeniem bezpieczeństwa i nie zastępuje wykrywania gazu gaśniczego ani instalacji sygnalizacji pożarowej.
- Gwarancja i ubezpieczenie: urządzenie własnej roboty w serwerowni może być sprzeczne z warunkami gwarancji sprzętu albo polisy, więc uzgadniamy je z zarządcą serwerowni i ubezpieczycielem.
- Serwer HTTP ESPHome domyślnie używa uwierzytelniania podstawowego [5]. Na `fw01` ograniczamy dostęp do portu 80 płytki do adresu `mon01`.
- PoE: port przełącznika ma budżet mocy, a SPS30 pobiera w pracy około 55 mA przy 5 V [12], więc sprawdzamy budżet przy podłączeniu.
- Aktualizacje: płytkę aktualizujemy przez sieć według sekcji `ota`, poza oknem zmian od 15 listopada do 6 stycznia.

> Więcej możliwości albo gotowe rozwiązanie od ręki (out of the box): sieciowy moduł jakości powietrza z pyłem, CO2 i interfejsem SNMP albo HTTP, zestaw kuponów korozyjnych z raportem laboratorium oraz filtr chemiczny w klimatyzatorze. W dużych centrach danych stosuje się stałe pomiary gazów korozyjnych, filtrację chemiczną powietrza doprowadzanego, nadciśnienie w sali i monitorowanie czystości w systemie DCIM.

Poza serwerownią

W biurze czujnik CO2 pokazuje, kiedy sala konferencyjna wymaga wietrzenia, bo po spotkaniu stężenie rośnie szybciej niż temperatura. Według normy PN-EN 16798-1 wartości projektowe CO2 ponad stężeniem na zewnątrz wynoszą 550 ppm dla kategorii I, 800 ppm dla II i 1350 ppm dla III [24]. Zasada jest prosta: im niższa kategoria, tym lepsze powietrze, a przy tle zewnętrznym około 430 ppm próg 1000 ppm Pettenkofera leży między kategorią I (około 980 ppm) a II (około 1230 ppm).

W domu pył PM2.5 pokazuje, kiedy włączyć oczyszczacz i kiedy dym z ogrzewania dostaje się do mieszkania. W tym samym domu CO2 podpowiada, kiedy w sypialni po nocy trzeba otworzyć okno. W magazynie w Swarzędzu pył wnoszą kartony i wózki, więc czujnik pyłu w biurze magazynowym i w hali pokazuje, gdzie czyszczenie jest potrzebne.

W przemyśle gazy korozyjne pilnuje się w pomieszczeniach sterowni, a norma ISA 71.04 powstała właśnie dla systemów sterowania procesami, czyli dla miejsc, w których elektronika stoi obok instalacji chemicznych [16]. W pomieszczeniach czystych klasę czystości według ISO 14644-1 sprawdza się licznikiem cząstek, a nie tanim czujnikiem.

Mity i sprostowania

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę
Czujnik PM2.5 mierzy masę pyłu dokładnie jak wzorzec	Czujnik laserowy liczy cząstki i szacuje masę, więc dwa czujniki mogą różnić się o kilkanaście procent [12]
1000 ppm CO2 to granica trucia	To wskaźnik, że pomieszczenie wymaga wietrzenia, ustalony przez Pettenkofera w 1858 roku [7]
Tani moduł eCO2 mierzy CO2	Zwykle szacuje CO2 z lotnych związków organicznych, więc przy decyzjach stosujemy czujniki NDIR
Filtr w klimatyzatorze załatwia sprawę	Filtr zatrzymuje cząstki, a nie gazy korozyjne, które niszczą miedź i srebro [16]
G1, G2, G3 to klasy filtrów	Litera G w ISA 71.04 oznacza korozyjność powietrza, a dawne filtry zgrubne EN 779 miały osobne klasy G1 do G4 [16][19]
Samokalibracja czujnika CO2 zawsze pomaga	Wymaga co tydzień powietrza o stężeniu około 400 ppm, a w zamkniętej serwerowni tego nie ma [6]
Dym wykryjemy czujnikiem pyłu	Czujnik pyłu widzi skok cząstek, ale nie jest czujką pożarową i nie spełnia jej norm

Oś czasu

Data	Wydarzenie
1858	Pettenkofer ustala 1000 ppm CO2 jako wskaźnik jakości powietrza w pomieszczeniach [7]
1859	Tyndall odkrywa zasady rozpraszania światła na cząstkach [8]
1938	Lehrer i Luft z BASF opracowują analizator URAS [9]
1947	Gucker buduje maszynę liczącą cząstki w powietrzu [8]
1962	Whitfield wynajduje nowoczesny czysty pokój [8]
2009	ASHRAE TC 9.9 publikuje biuletyn o zanieczyszczeniach gazowych i pyłowych w serwerowniach [17]
2013	Wydanie normy ISA 71.04-2013 [16]
październik 2016	Airly uruchamia w Krakowie sieć czujników pyłu pod hasłem #KrakowOddycha [25]
2018	ISO 16890 zastępuje dawną normę EN 779 [19]

Data	Wydarzenie
2021	WHO obniża wytyczne dla PM2.5 do 5 µg/m³ rocznie i 15 µg/m³ na dobę [20]

Wątek polski

Polskim wątkiem tej dziedziny jest Airly, startup z Krakowa. Według informacji firmy zaczął od czujników zbudowanych przez studentów AGH, a w październiku 2016 roku uruchomił w Krakowie sieć czujników pyłu pod hasłem #KrakowOddycha, która dała mieszkańcom odczyty w czasie rzeczywistym [25][26]. Nie twierdzimy, że to pierwsza taka sieć na świecie, bo firma tak się opisuje, a my nie mamy niezależnego źródła.

W prawie pracy dwutlenek węgla ma w Polsce własne normatywy: według rozporządzenia ministra rodziny, pracy i polityki społecznej z 12 czerwca 2018 roku (Dz.U. 2018 poz. 1286) NDS wynosi 9000 mg/m³, a NDSCh 27000 mg/m³ [27]. NDS to najwyższe dopuszczalne stężenie w ciągu 8 godzin pracy, a NDSCh to najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe. Są to wartości dla zdrowia pracowników, rzędu 5000 ppm dla NDS, czyli dużo wyższe od progów komfortu około 1000 ppm, więc nie służą do sterowania wentylacją. Aktualny stan przepisu sprawdzamy w ujednoliconym tekście.

Nie udało nam się ustalić polskiego wynalazcy czujnika pyłu, czujnika CO2 ani klas korozyjności. Wymagania dla serwerowni w Polsce wynikają ze wskazówek producentów sprzętu, wytycznych ASHRAE i umów z klientami, a nie z odrębnej krajowej normy, o czym rozmawiamy z ubezpieczycielem.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Pył rośnie po każdej wizycie ekipy	otwarte drzwi i kurz z ubrań	łączymy odczyt pyłu ze stanem drzwi, ograniczamy wizyty
Odczyt pyłu bez sensu po uruchomieniu	wentylator SPS30 jeszcze się rozpędza	pomijamy pierwsze minuty po starcie
Wysoki pył w nocy bez ruchu	czujnik stoi w strumieniu z klimatyzatora albo filtr przestał działać	przestawiamy czujnik, sprawdzamy filtr
CO2 w serwerowni stale zaniżony	włączona samokalibracja	ustawiamy `automatic_self_calibration: false`
CO2 skacze po każdym otwarciu drzwi	ludzie w serwerowni oddychają	to oczekiwane, dlatego próg dla serwerowni jest wyższy niż w biurze

Objaw	Przyczyna	Co robimy
SCD41 pokazuje zawyżoną temperaturę	nagrzewanie z płytki albo z wylotu ciepła	przesuwamy czujnik dalej od płytki
`esphome config` zgłasza błąd klucza API	klucz nie jest 32 bajtami w base64	generujemy klucz poleceniem `openssl rand -base64 32`
W dzienniku brak urządzeń na I2C	zamienione SDA i SCL albo brak podciągania	sprawdzamy kable i dolutowujemy rezystory 10 kΩ
Płytka restartuje się co 15 minut	`api` bez klienta i bez `reboot_timeout: 0s`	dopisujemy `reboot_timeout: 0s`
Element w Zabbixie niewspierany	zły adres URL, hasło albo brak JSONPath	sprawdzamy `curl` z tego samego adresu

Ćwiczenia

1. Dlaczego czujnik laserowy dobrze pokazuje trend pyłu, a gorzej jego wartość bezwzględną?

Odpowiedź

Bo liczy cząstki i ich błyski, a masę szacuje algorytmem przy założeniu typowej gęstości pyłu. Zmiana wskazań po remoncie albo wymianie filtra jest więc wiarygodna, ale dwa czujniki mogą się różnić o kilkanaście procent [12].

1. Dlaczego w zamkniętej serwerowni wyłączamy automatyczną samokalibrację czujnika CO2?

Odpowiedź

Samokalibracja zakłada, że co tydzień czujnik zobaczy powietrze o stężeniu około 400 ppm. W zamkniętej serwerowni tego nie zobaczy, więc uznałby podwyższone stężenie za wzorzec i zaniżał wyniki [6].

1. Czym różni się klasa G1 od klasy GX w normie ISA 71.04?

Odpowiedź

G1 to środowisko łagodne: warstwa korozji na kuponie miedzi poniżej 300 angstremów w 30 dni. GX to środowisko ciężkie: powyżej 2000 angstremów, w którym trzeba usunąć źródło

skażenia i dołożyć filtrację chemiczną [16].

1. Po remoncie obok serwerowni czujnik pyłu pokazuje 40 µg/m³ przez godzinę. Co robimy?

Odpowiedź

Sprawdzamy, czy drzwi były otwarte i czy kurz mógł osiąść na wlotach szaf, oglądamy filtry klimatyzatorów i wymieniamy je przed terminem, jeśli są zabrudzone. Przy poważnym zapyleniu zamawiamy też pomiar licznikiem cząstek.

1. Dlaczego czujnik pyłu i czujnik CO2 nie powiedzą nam, czy powietrze niszczy elektronikę?

Odpowiedź

Bo korozję powodują gazy z siarką i chlorem, których te czujniki nie mierzą. O klasie G1 do GX rozstrzyga kupon korozyjny, który po miesiącu oddajemy do laboratorium [16].

1. Dlaczego czujnik SPS30 zasilamy z 5 V, a SCD41 z 3,3 V?

Odpowiedź

SPS30 ma wentylator i wymaga zasilania 4,5 do 5,5 V [12]. SCD41 przyjmuje od 2,4 do 5,5 V [6], więc zasilamy go z 3,3 V, żeby poziomy logiczne I2C pasowały do płytki.

Powiązane: Serwerownia Zielonej: gdzie stoją czujniki i dokąd płyną alarmy · Czujniki zalania w praktyce: wybór, montaż i własna sonda (DIY) · Kontaktrony i czujki ruchu w praktyce: wybór, montaż i własny moduł (DIY) · Higrometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania · Termometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania · Klimatyzacja serwerowni: rodzaje, free cooling i czynniki chłodnicze · Odbiór i serwis klimatyzacji: lista kontrolna, F-gazy, przeglądy

Źródła:

1. ESPHome, Native API Component: https://esphome.io/components/api/
2. Olimex, ESP32-POE na GitHub: https://github.com/OLIMEX/ESP32-POE
3. ESPHome, SPS30 Particulate Matter Sensor: https://esphome.io/components/sensor/sps30/
4. ESPHome, SCD4X CO2, Temperature and Relative Humidity Sensor: https://esphome.io/components/sensor/scd4x/
5. ESPHome, Web Server Component oraz Web Server API: https://esphome.io/components/web_server/ oraz https://esphome.io/web-api/

6. Sensirion, karta katalogowa SCD4x (SCD40 i SCD41): https://cdn.sparkfun.com/assets/9/7/5/7/0/Sensirion_SCD4x_Datasheet.pdf
7. Baunetzwissen, hasło Pettenkofer-Grenze: https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/pettenkofer-grenze-1460789
8. Cleanroom Technology, historia liczenia cząstek (Tyndall, Gucker, Whitfield): https://cleanroomtechnology.com/the-history-of-particle-counting-technology-205590
9. ABB, 85 lat analizatora URAS (Lehrer i Luft, BASF): https://new.abb.com/products/measurement-products/analytical/advance-optima-and-easyline-series/uras-85th-anniversary
10. Wikipedia, Particulates: https://en.wikipedia.org/wiki/Particulates
11. NOAA Global Monitoring Laboratory, Trends in CO2: https://www.gml.noaa.gov/ccgg/trends
12. Sensirion, karta katalogowa SPS30: https://cdn.sparkfun.com/assets/4/e/e/f/8/Sensirion_PM_Sensors_Datasheet_SPS30.pdf
13. ESPHome, PMSX003 Particulate Matter Sensor: https://esphome.io/components/sensor/pmsx003/
14. Wikipedia, Nondispersive infrared sensor: https://en.wikipedia.org/wiki/Nondispersive_infrared_sensor
15. Sensirion, SCD4x, czujnik CO2: https://sensirion.com/products/catalog/SCD41
16. Purafil, zmiany w klasyfikacjach środowiskowych ISA 71.04: https://www.purafil.com/isa-environmental-classifications-changes-new-requirements/
17. ASHRAE TC 9.9, Gaseous and Particulate Contamination Guidelines for Data Centers (biuletyn z 30 lipca 2009): https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/ASHRAE_Contamination_Whitepaper_30_July_2009.pdf
18. Public Lab, kupony korozyjne: https://publiclab.org/wiki/revisions/corrosion-coupons
19. REHVA, konwersja klas filtrów EN 779 na ISO 16890: https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/filter-class-conversion-between-en-779-and-en-iso-16890-1
20. IQAir, wytyczne WHO z 2021 roku: https://www.iqair.com/gb/newsroom/2021-WHO-air-quality-guidelines
21. ESPHome, SCD4X: https://esphome.io/components/sensor/scd4x/
22. Zabbix 7.0, element HTTP agent: https://www.zabbix.com/documentation/7.0/en/manual/config/items/itemtypes/http
23. Zabbix 7.0, wyrażenia wyzwalaczy: https://www.zabbix.com/documentation/7.0/en/manual/config/triggers/expression
24. REHVA, Olesen, kategorie jakości powietrza i CO2 w PN-EN 16798-1 (EN 16798-1): https://rehva.eu/fileadmin/user_upload/Olesen_HB_2015.pdf
25. Airly, pierwsza miejska sieć czujników jakości powietrza: https://airly.org/en/airly-worlds-first-urban-network-of-air-quality-sensors/
26. Antyweb, Airly, startup z Krakowa: https://antyweb.pl/airly-startup-krakow/
27. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 12 czerwca 2018 r., Dz.U. 2018 poz. 1286: https://eli.gov.pl/eli/DU/2018/1286/ogl/pol/pdf