

# 1. Moduł pomiarowy dla platformy latającej – czujnik jakości powietrza

## 1.1. Konstrukcja modułu czujnika jakości powietrza

Zrealizowany został czujnik jakości powietrza służący do pomiaru ilości zawieszonych cząstek pyłu, stężenia tlenku węgla CO, temperatury oraz wilgotności. Informacje zebrane poprzez czujniki przesyłane są za pomocą systemu bezprzewodowego do naziemnego odbiornika, który wyświetla dane na wyświetlaczu lcd.

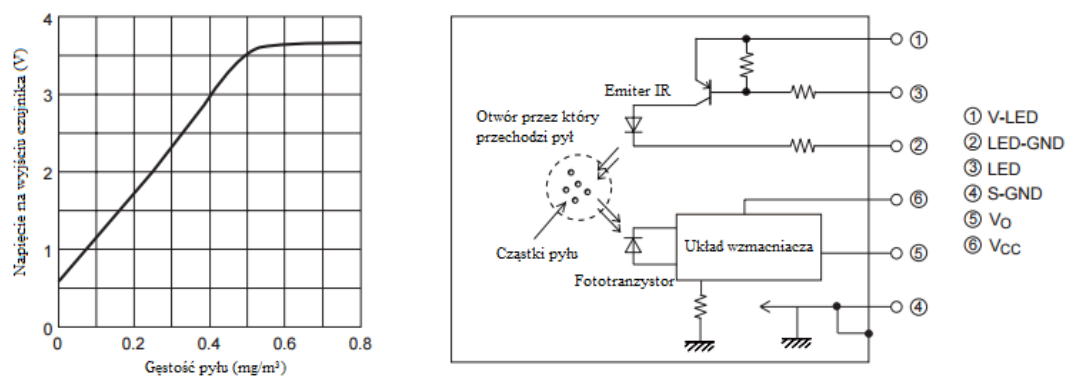
### 1.1.1. Czujnik pyłu

W celu pomiaru koncentracji pyłu zawieszonego wykorzystano czujnik optyczny GP2Y1010AU0F firmy SHARP stosowany w systemach oczyszczania powietrza. Czujnik wyposażony jest w diodę emitującą światło, zestaw soczewek oraz fototranzystor, który rejestruje światło rozproszone na drobinach zanieczyszczeń.



Rys.1.1. Czujnik pyłu SHARP GP2Y1010AU0F

Czujnik wykrywa cząstki pyłu o średnicy większej niż  $0.8\mu\text{m}$ , co pozwala na określenie zanieczyszczenia na poziomie PM<sub>2,5</sub>. Charakteryzuje się wynikiem pomiaru dostępnym na wyjściu analogowym, którego wartość napięcia jest liniowo proporcjonalna do koncentracji cząstek pyłu w zakresie do  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dopuszczalna temperatura pracy w zakresie od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $65^{\circ}\text{C}$ , natomiast zakładana żywotność podana przez producenta to 5 lat.

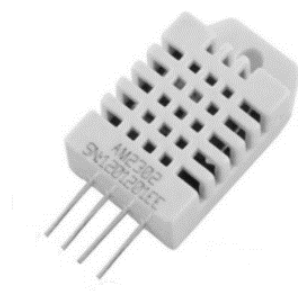


Rys.1.2. Z lewej charakterystyka napięcia na wyjściu czujnika od gęstości pyłu, z prawej układ elektryczny czujnika pyłu.

Pomiar odbywa się poprzez generowanie impulsu podczerwieni o czasie trwania  $P_w=0,32\text{ms}$  zapewnionym przez kondensator o pojemności  $C=220\mu\text{F}$  oraz rezystor o rezystancji  $R=150\Omega$  i okresie  $T=10\text{ms}$ . Następnie po czasie  $0,28\text{ms}$  wartość będzie dostępna w postaci napięcia na pinie analogowym. Wartość gęstości pyłu można obliczyć korzystając z charakterystyki producenta, przedstawionej na rysunku 1.2. W dokumentacji czujnika nie określono żadnych przeciwwskazań dotyczących miejsca montażu.

### 1.1.2. Pomiar temperatury oraz wilgotności

Pomiar temperatury oraz wilgotności odbywa się za pomocą czujnika DHT 22. Jest to 8-bitowy cyfrowy czujnik, mierzący temperatury w zakresie od  $-40^\circ\text{C}$  do  $125^\circ\text{C}$ , przy błędzie pomiarowym  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  oraz wilgotności względnej powietrza od 0% do 100% RH, z błędem  $\pm 5\%$  RH. Czujnik zasilany jest napięciem 3.3V do 6V DC, dane pomiarowe dostępne są na jednoprzewodowym wyjściu sygnałowym.



Rys.1.3 Czujnik temperatury oraz wilgotności DHT22

### 1.1.3. Czujnik tlenku węgla

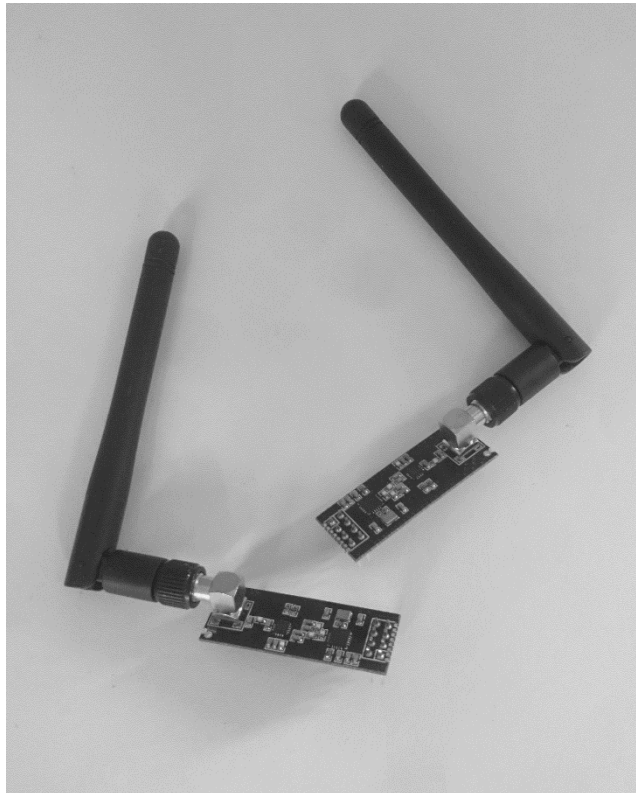
W celu pomiaru stężenia tlenku węgla CO, który jest niebezpiecznym, bezwonny, bezbarwnym gazem, skorzystano z czujnika MQ-7, posiadającego wyjście cyfrowe oraz analogowe. Wyjście cyfrowe przełącza poziom logiczny wyjścia przy porównaniu wartości zmierzonej oraz wartości ustawionego progu. Pomiar napięcia wyjścia analogowego służy do określenia stężenia gazu w powietrzu. Materiałem zastosowanym do wykrywania CO w czujniku MQ-7 jest  $\text{SnO}_2$ . Pomiar odbywa się metodą cykli wysokiej i niskiej temperatury, osiąganych za pomocą wbudowanej grzałki. Zakres pomiaru od 10 do 10000 ppm CO (ang. parts per milion). Głównym powodem zastosowania była dobra czułość, długi czas działania oraz niski koszt.



Rys.1.4. Czujnik MQ-7 tlenku węgla CO

### 1.1.4. Moduł komunikacyjny

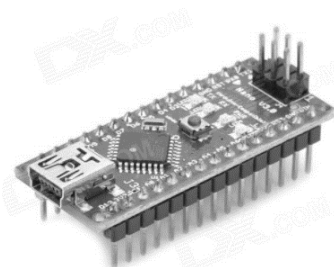
W celu przesyłania danych z czujników wykorzystano moduły radiowe nRF24L01, pełniące funkcję odbiornika i nadajnika, pracujące w pasmie 2,4 GHz. Komunikacja prowadzona jest poprzez interfejs SPI, moduł posiada sprzętową kolejkę FIFO, a dzięki dodatkowej antenie zasięg deklarowany przez producenta wynosi do 1000 m. Możliwy jest wybór prędkości transmisji 250 kbps, 1 Mbps lub 2 Mbps. Pracuje zasilany napięciem od 1,9 V do 3,6 V, przy bardzo dużej energooszczędności, pobór prądu nadajnika 115 mA ( w szczycie), odbiornika 45 mA ( w szczycie) . Na rysunku 1.5 przedstawiono moduły odbiorczo – nadawcze, wraz z antenami 110 mm.



Rys.1.5. Moduły nadawczo – odbiorcze nRF24L01

### 1.1.5. Kontroler – Arduino NANO

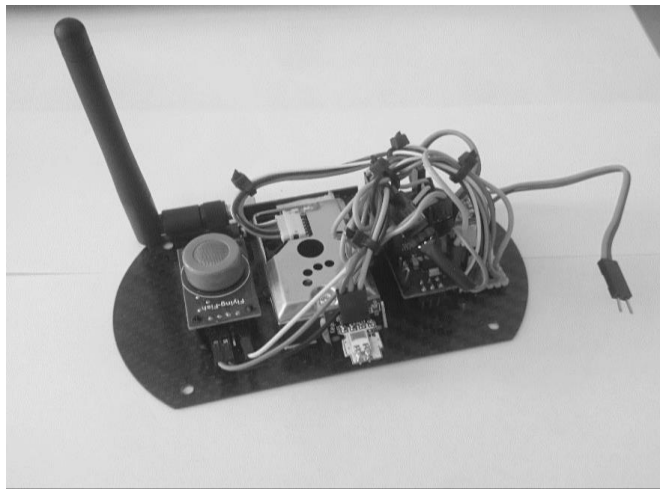
W celu akwizycji danych z czujników oraz obsługi modułu komunikacyjnego po stronie nadawczej, wykorzystano płytkę Arduino NANO bazującą na mikrokontrolerze ATmega328P. Układ posiada 14 cyfrowych wejść/wyjść, 8 analogowych wejść, złącze mini usb, komunikację UART, interfejs I<sup>2</sup>C oraz SPI. Głównym powodem zastosowania tego układu była niska masa, wynosząca 4,8g. Dodatkowym atutem są kompaktowe rozmiary oraz niska cena.



Rys.1.6 Płytką kontrolera Arduino NANO.

## 1.2. Kompletny moduł czujnika jakości powietrza.

Podstawę montażową modułu stanowi płytka wykonana z włókna węglowego o rozmiarach odpowiadających rozmiarowi płyty baterii quadcoptera, pod którą zostanie zamocowana. Wykonane zostały wszystkie niezbędne połączenia elektryczne, za pomocą wtyków kołkowych 2,54 mm oraz przewodów o przekroju 0,25 mm<sup>2</sup>. Dodatkowo zastosowano przetwornicę impulsową typu step-down, służącą do zasilania modułu. Przetwornica zapewnia napięcie 5V oraz prąd do 3A dla czujników oraz płytki mikrokontrolera. Waga kompletnego modułu wynosi 73 g.



Rys.1.7. Moduł czujnika czystości powietrza.

## 1.3. Odbiornik danych pomiarowych

W celu prezentacji danych wykonano moduł odbiornika mocowany do nadajnika RC. Moduł wyposażony jest w:

- Mikrokontroler – Arduino Uno, będące jednostką obsługującą moduł komunikacyjny oraz wyświetlacza.
- Moduł komunikacyjny - moduł radiowy nRF24L01, służący jako odbiornik.
- Wyświetlacza LCD – Wyświetlacz 4x20 znaków, podświetlany kolorem niebieskim, wyposażony w kontroler magistrali I<sup>2</sup>C, dzięki której komunikacja odbywa się za pomocą dwóch przewodów SDA i SCL.

Elektronika zamknięta została w obudowie wykonanej z materiału HIPS - (polistyren wysokoudarowy). Obudowa posiada kształt prostopadłościanu z wyciętymi niezbędnymi otworami na wyświetlacz, antenę modułu radiowego, zasilanie płytki arduino oraz port komunikacji USB. Zasilanie pochodzi z akumulatora zasilającego aparaturę RC, bateria

typu Li-pol o napięciu nominalnym 7,4V. Podłączenie zasilania polega na wpięciu wtyczki typu DC 2.1/5.5 do portu zasilania w płytce arduino. Wymiary modułu wynoszą 110x70x60mm. Moduł może być wyposażony w gniazdo karty SD, służące do rejestracji pomiarów na karcie pamięci lub moduł transmisji WIFI, który mógłby być wykorzystany do transmisji danych do komputera przenośnego.



Rys.1.8. Moduł odbiornika danych pomiarowych wraz z nadajnikiem RC.



Rys. 1.9. Latająca platforma wyposażona w moduł pomiarowy.

## **1.4. Oprogramowanie nadajnika oraz odbiornika modułu jakości powietrza.**

Zarówno nadajnik oraz odbiornik pracują na platformie Arduino, więc do stworzenia oprogramowania wykorzystano środowisko Arduino IDE oraz gotowe biblioteki dla konkretnych modułów.

### **1.4.1. Oprogramowanie nadajnika.**

Program nadajnika zbiera odczyty z czujników, a następnie wpisuje wykonane odczyty do tablicy, która następnie przesyłana jest do odbiornika za pomocą modułu radiowego. Kod programu został załączony w załączniku A. Wykorzystano następujące biblioteki:

- SPI.h – służąca do obsługi interfejsu SPI
- nRF24L01.h – obsługa modułu komunikacji radiowej
- TimerOne.h – obsługa wbudowanego licznika Timer1
- DHT.h – obsługa czujnika temperatury i wilgotności.

### **1.4.2. Oprogramowanie odbiornika.**

Program odbiornika odbiera dane za pomocą modułu radiowego w postaci tablicy danych, a następnie wypisuje otrzymane dane na wyświetlaczu LCD. Wykorzystano biblioteki:

- SPI.h – służąca do obsługi interfejsu SPI
- nRF24L01.h – obsługa modułu komunikacji radiowej
- Wire.h – biblioteka wykorzystywana do obsługi komunikacji I<sup>2</sup>C
- LiquidCrystal\_I2C.h – biblioteka do obsługi wyświetlacza LCD poprzez komunikację I<sup>2</sup>C

## **1.5. Przeprowadzone testy czujnika**

W celu weryfikacji działania, przeprowadzono testy czujnika polegające na sprawdzeniu zasięgu urządzenia na otwartej przestrzeni. Moduł czujnika pozostawiono w miejscu charakterystycznym na szczycie wzniesienia, w celu symulacji lotu na pewnej

wysokości. Następnie oddalano się z miejsca położenia czujnika, aż do momentu utraty transmisji danych. Pokonaną odległość zmierzono przy pomocy aplikacji korzystającej z map satelitarnych, widocznej na rysunku 1.9.



Rys. 1.9. Zrzut ekranu aplikacji, przy pomocy której dokonano pomiaru odległości.

Zmierzony zasięg wynosi 611 metrów, co jest wynikiem mniejszym niż szacowany zasięg podany przez producenta 1000 metrów. Zmniejszony zasięg może wynikać z powodu zastosowania gorszych komponentów modułu przez producenta lub z nieodpowiedniej konfiguracji programowej urządzenia.

Z racji braku sezonu grzewczego, w celu symulacji dymu wydobywającego się z kominów domów, rozpalono ognisko. Czujnik umieszczono bezpośrednio w zadymieniu. Otrzymane wyniki zawarto w tabeli 1.1.

Tab. 1.1. Uzyskane wyniki pomiarów.

Środowisko	Dym	Czyste powietrze
Rodzaj pomiaru		
Zapylenie	$>500 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$10 - 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	$> 200 \text{ mg}/\text{m}^3$	$< 20 \text{ mg}/\text{m}^3$

Wyniki podawane przez moduł dodatkowo porównano z wynikami najbliższej stacjonarnej stacji monitoringu czystości powietrza. Niestety wyniki stacji są uśredniane i aktualizowane co jedną godzinę, więc otrzymane dane nie nadają się do kalibracji czujników. W tabeli 1.2. zawarto polski indeks jakości powietrza.



Tab.1.2. Polski indeks jakości powietrza.

Indeks jakości powietrza	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]
Bardzo dobry	0 - 20	0 - 12	0 - 2
Dobry	21 - 60	13 - 36	3 - 6
Umiarkowany	61 - 100	37 - 60	7 - 10
Dostateczny	101 - 140	61 - 84	11 - 14
Zły	141 - 200	85 - 120	15 - 20
Bardzo zły	> 200	> 120	> 20

Wykonane pomiary pokazały małą dokładność czujników pomiarowych, spowodowaną brakiem koniecznej kalibracji za pomocą profesjonalnych urządzeń pomiarowych.