

Monitoring jakości powietrza

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Czas trwania: 15 minut

Czas obserwacji: dowolny

Wymagane warunki meteorologiczne: brak

Częstotliwość wykonania: przynajmniej raz w ciągu dnia lub pomiar ciągły

Poziom szkoły: wszystkie

Materiały i przyrządy: czujnik PM10, Arduino, kable, obudowa, zasilacz

1. Wstęp

Zanieczyszczenia powietrza stanowi jeden z największych problemów obecnego świata. Szacuje się, że w Polsce rocznie z powodu zanieczyszczenia atmosfery umiera ponad 40 tys. osób, zaś na świecie liczba ta sięga 7 milionów. W Polsce największy problem z jakością powietrza mamy w okresie jesienno-zimowym ze względu na tzw. niskie emisje. W skład nich wchodzi zanieczyszczenia pyłowe i gazowe emitowane przez system komunikacji oraz pyły i szkodliwe gazy pochodząca z lokalnych kotłowni węglowych i domowych pieców grzewczych, w których spalanie węgla odbywa się w nieefektywny sposób. Emisje przemysłowe nie są obecnie dużym zagrożeniem gdyż zostały w ostatnich latach znacząco zredukowane. Dla przykładu ilość emitowanego do atmosfery dwutlenku siarki (SO_2) wynosi jedynie 20% wartości, jaka była emitowana w latach 70 i 80 ubiegłego wieku. Wysokie emisje w tamtych latach powodowały kwaśne deszcze oraz bardzo silną degradację środowiska naturalnego. Przykładem w tym przypadku jest zniszczenia znacznej części lasów w rejonie Karkonoszy. Obecnie drzewostan w tym rejonie został znacząco odbudowany.

Niskie emisje w Polsce dominują w chłodnej porze roku, gdy wiele domostw jest ogrzewanych przy użyciu węgla lub biomasy. Jeśli panują niekorzystne warunki meteorologiczne tzn. słaby wiatr, inwersja temperatury powietrza oraz wysoka wilgotność względna powietrza to wówczas dochodzi do rozwoju groźnego smogu. W tym przypadku wyczuwalny jest charakterystyczny zapach spalenizny unoszący się w powietrzu, a widzialność spada niejednokrotnie

po niżej 1 km. W związku z tym najbardziej narażone miejsca na występowanie smogu to miasta o słabej wentylacji oraz kotliny górskie. W ostatnim przypadku szczególną rolę odgrywa lokalna cyrkulacja powietrza, która w nocy dodatkowo prowadzi do kumulacji zanieczyszczeń przy dnie kotliny.

Monitoring zamieszczeń powietrza prowadzony jest przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska działające w ramach Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska [1]. Jednak ze względu na dużą zmienność czasoprzestrzenną koncentracji zanieczyszczeń liczba stacji pomiarowych jest niestarczająca do rzeczywistej oceny stanu jakości powietrza w wielu rejonach Polski. Poza pomiarem koncentracji podstawowych zanieczyszczeń gazowych takich jak SO_2 , NO_2 , O_3 prowadzi się obserwację koncentracji pyłu zawieszonego. W nomenklaturze naukowej wyróżnia się takie pojęcia jak PM_{10} , czyli masa wszystkich cząstek stałych lub ciekłych o rozmiarach mniejszej lub równiej 10 mikrometrów oraz $\text{PM}_{2,5}$ określające koncentrację masy cząstek, których rozmiary nie przekraczają 2,5 mikrometra. Typowe cząstki zanieczyszczeń zwane inaczej aerozolem są bardzo małe, dlatego nie są widoczne gołym okiem. Cząstki aerozolu o rozmiarach ok. 1 mikrometra są około 40 razy mniejsze niż średnica włosa ludzkiego. Jednostką PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ jest masa cząstek wyrażana w mikrogramach w metrze sześciennym powietrza ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Limity koncentracji PM_{10} oraz $\text{PM}_{2,5}$ ustalone przez Światową Organizację Zdrowia wynoszą:

- 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla wartości średniej dobowej i 20 dla średniej rocznej PM_{10}
- 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla wartości średniej dobowej i 10 dla średniej rocznej $\text{PM}_{2,5}$.

W Polsce wartości średnie dobowe jak i średnie roczne są przekraczane w wielu miastach. Podczas warunków smogowych koncentracje PM_{10} sięgają kilkuset, co oznacza wielokrotne przekraczanie norm. Z punktu widzenia zdrowia najgroźniejszą grupę stanowią najmniejsze cząstki ($\text{PM}_{2,5}$), które poruszając się jak molekuly powietrza dostają się do pęcherzyków płucnych, a nawet penetrują do naczyń krwionośnych, a stamtąd do krwiobiegu, stąd jest równo szkodliwy dla układu oddechowego jak i układu krążenia. Większe cząstki mogą powodować stany zapalne spojówek oraz błony śluzowej nosa i gardła.

2. Budowa przyrządu do monitoringu pyłu PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$

Do monitoringu stosować będziemy proste optyczne czujniki pyłu. Głównym elementem miernika jest laser emitujący światło oraz fotodioda, która rejestruje światło rozproszone na pojedynczych drobinach zanieczyszczeń.

Zanieczyszczenia dostają się do komory pomiarowej za pomocą małego wiatraczka, gdzie zliczane są one przez układ optyczny. Dostępne są na rynku różne czujniki, które działają w taki sposób (Tabela 1).

Tabela 1. Parametry techniczne różnych czujników koncentracji pyłu.

nazwa	tryb pracy	cena [zł]	PM10	PM2,5	PM1	inne
GP2Y1010AUOF	analogowy	55	√	-	-	-
PPD42NS	cyfrowy	100	√	√	-	-
SEN0177	cyfrowy	250	√	√	√	-
PMS3003	cyfrowy	300	√	√	√	-
OPC-N2	cyfrowy	2500	√	√	√	rozmiar ¹

¹ czujnik mierzy koncentrację pyłu w 16 kanałach od 0.3 do 20 μm.

Do wszystkich wymienionych czujników niezbędny jest układ elektroniczny pozwalający na zbieranie danych. Najprostszym rozwiązaniem jest zakup mikrokontrolera typu Arduino [2] (np. UNO) w cenie ok. 30 zł i bezpośrednie podłączenie czujnika na odpowiednie wejście układu. Ponadto wymagane jest zaprogramowanie mikrokontrolera, który będzie odpowiedzialny za zbieranie danych i wysyłanie ich np. do komputera za pośrednictwem poru USB. Niezbędne oprogramowanie można pobrać ze stron internetowych dedykowanych dla każdego z wyżej wymienionych czujników. Poniżej przedstawiono etapy budowy przyrządu do monitoringu jakości powietrza.

- a) Zakup jednego z czujników (Tabela 1)
- b) Zakup systemu Arduino + zasilacz 5-12 V
- c) Podłączenie czujnika do systemu Arduino zgodnie ze specyfikacją dostępną w internecie dla każdego czujnika
- d) Pobranie oprogramowania dla systemu Arduino (<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>)
- e) Pobranie programu obsługującego zakupiony czujnik w środowisku Arduino (np. dla czujnika GP2Y1010AUOF ze strony <http://sensorapp.net/sharp-dust-sensor-and-arduino/>)
- f) Skopiowanie programu obsługującego odpowiedni czujnik do edytora Arduino, a następnie kompilacja programu i wgranie go do mikrokontrolera Arduino.

g) W programie Arduino naciskamy przycisk Serial Monitor, po którym otworzy się nowe okienko, w którym wyświetlane będą zmierzone wartości.

h) Uruchamiany program, który szczytuje dane

Jeśli nie mamy dostępu do pracującego cały czas komputera dane można zapisywać przy pomocy Arduino. W tym przypadku musimy dokupić płytkę z czytnikiem kart microSD (cena ok. 20-30 zł), kartę microSD (np. o pojemności 8 GB, cena ok. 20 zł) oraz zegar cyfrowy (cena ok. 20 zł). Innym rozwiązaniem jest zakup Arduino Ethernet Shield z czytnikiem kart microSD (cena ok. 130 zł). W tym przypadku dane pomiarowe możemy zapisywać na dysk oraz przesyłać na dowolny komputer bądź wizualizować na stronie www.

Dodatkowo, w ramach monitoringu jakości powietrza można wykorzystać proste czujniki koncentracji niektórych gazów emitowanych do atmosfery. Tabela 2 zawiera informacje o kilku czujnikach do pomiaru koncentracji czadu, ozonu, dwutlenku węgla, metanu, amoniaku, dwutlenku azotu oraz dwutlenku siarki. Wszystkie wymienione czujniki podłącza się za pomocą mikrokontrolera systemu Arduino. W dowolnym momencie można rozszerzyć pomiary jakości powietrza o dowolny czujnik. Za każdym razem należy jednak dokonać modyfikacji programu obsługującego czujniki za pośrednictwem Arduino.

Tabela 2. Parametry techniczne czujników zanieczyszczeń gazowych.

nazwa	tryb pracy	cena [zł]	CO	O₃	CO₂	CH₄	NH₃	NO₂	SO₂
MG-9	cyfrowy	37	√	-	-	-	-	-	-
MQ-131	cyfrowy	140	-	√	-	-	-	-	-
DFRobot SEN0159	cyfrowy	260	-	-	√	-	-	-	-
Libelium 9231	cyfrowy	290	-	-	√	-	-	-	-
Libelium 9232	cyfrowy	140	-	-	-	√	-	-	-
Libelium 9233	cyfrowy	630	-	-	-	-	√	-	-
Libelium 9238B	cyfrowy	90	-	-	-	-	-	√	-
Libelium 9377	cyfrowy	820	-	-	-	-	-	-	√

3. Instalacja przyrządu

Czujnik przyrządu powinien zostać zainstalowany na zewnątrz w specjalnej wodoodpornej obudowie umożliwiającej wymianę powietrza. Wysokość czujnika nie powinna być wyższa niż kilka metrów nad powierzchnią gruntu. W celu eliminacji zakłóceń zaleca się, aby odległość czujnika od systemu zbierania danych Arduino była nie większa niż 1 metr, zaś system Arduino był umieszczony w klasie. Rozwiązanie takie powinno znacząco wydłużyć żywotność mikrokontrolera.

4. Przeprowadzenie obserwacji

Pomiar PM₁₀ i PM_{2,5} polega na odczytaniu wartości zmierzonej przez urządzenie i uśrednieniu wyników w ciągu ostatnich 5 minut. Uśrednianie ma na celu zmniejszenie niepewności pomiarowej, bo czujnik wykazuje znaczne fluktuacje czasowe.

5. Analiza wyników

Na podstawie zgromadzonych danych możemy wykreślić:

- średnie przebiegi dobowe
- średnie miesięczne w skali roku

A także analizować przypadku wystąpienia smogu, gdy PM₁₀ przekracza 100 czy 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Możemy policzyć jak często PM₁₀ przekracza wartość dopuszczalna 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ponadto możemy wyznaczyć jaki mamy obecny indeks jakości powietrza na podstawie Tabel 3.

Tabela 3. Indeks jakości powietrza w zależności od koncentracje niektórych gazów oraz PM₁₀ i PM_{2,5}.

SO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM _{2,5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	INDEKS JAKOŚCI POWIETRZA
0-50	0-50	0-5000	0-25	0-15	bardzo niski
50-100	50-100	5000-7500	25-50	15-30	niski
100-350	100-200	7500-10000	50-90	30-55	średni
350-500	200-400	10000-20000	90-180	55-110	wysoki
>500	>400	>20000	>180	>110	bardzo wysoki

6. Literatura

- [1] Monitoring jakości powietrza w Polsce
<http://powietrze.gios.gov.pl/gios/site/measuringstation/>
- [2] System Arduino, <https://www.arduino.cc/>