

Projekt stacji pomiarowej z wykorzystaniem Arduino i czujników do monitorowania parametrów powietrza

Alan Kondrusik, Agnieszka Choroszucho, Damian Orzechowski

Wprowadzenie

W dzisiejszym społeczeństwie zaobserwować możemy ogromny postęp technologiczny, który przyczynia się do rozwoju różnorodnych gałęzi przemysłu. Ten postęp poprawia jakość życia ludzi, lecz czasem pomijane są jego znaczące skutki dla otaczającego nas środowiska, dla ekologii. Rewolucja przemysłowa stanowi jedno z kluczowych zjawisk, przez które do atmosfery zaczęły przedostawać się duże ilości dwutlenku węgla, tlenku węgla, siarki, azotu, pyłów i innych gazów. To zjawisko wymaga systematycznego monitorowania parametrów otoczenia praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu, z myślą o naszym zdrowiu i ochronie środowiska. W tym celu różne firmy korzystają z wyspecjalizowanych programów, systemów wbudowanych i czujników, które w czasie rzeczywistym rejestrują i przekazują dane dotyczące kluczowych parametrów środowiska. Ważnym aspektem jest cena takich urządzeń, zwłaszcza czujników, które czasem osiągają wysokie kwoty. Wskazane jest, aby takie urządzenia były jak najtańsze i zarazem wydajne. Wykorzystując niedroge systemy wbudowane typu Arduino oraz tanie czujniki, takie rozwiązanie można określić jako oszczędne w rozwiązywaniu tego problemu.

Na rynku można zauważyć znaczną liczbę dostępnych elektronicznych urządzeń, w tym czujników i systemów wbudowanych, oferowanych w przystępnych cenach. Z odpowiednim sprzętem i wiedzą można monitorować parametry środowiska za niewielkie koszty, osiągając jednocześnie wysoką wydajność pomiarów. To realne rozwiązanie.

Ten artykuł przedstawia moją koncepcyjną propozycję projektu oraz wyniki przeprowadzonej analizy, ukazując szerokie i przystępne zastosowanie platformy Arduino i tanich czujników do monitorowania parametrów otoczenia.

Arduino – open source hardware/software

Arduino to oprogramowanie/sprzęt typu open source używane wszechstronnie do tworzenia samodzielnych interaktywnych projektów przez profesjonalistów oraz hobbystów. Firma Arduino produkuje różne typy urządzenia stosowane do różnych celów, dzięki czemu użycie sprzętu staje się globalne (rys. 1.) [1]. Fizyczna część sprzętu to płytki PCB o różnych rozmiarach i funkcjonalności zależnie od typu systemu wbudowanego.

Streszczenie: Artykuł prezentuje analizę i potencjał szerokiego zastosowania platformy Arduino w monitorowaniu istotnych parametrów powietrza za pomocą relatywnie tanich czujników środowiskowych. W celach badawczych przetestowano wybrane sensory w ramach koncepcyjnego projektu, wykorzystując przy tym podejście statyczne w stabilnych warunkach oraz dynamiczne w warunkach środowiskowych szybko się zmieniających. Wykorzystano program komputerowy oraz platformę Arduino do analizy poszczególnych danych. Otrzymane wyniki ukazują perspektywy zastosowania projektu, potwierdzając użyteczność, efektywność oraz spójność danych rejestrowanych przez czujniki.

Słowa kluczowe: jakość powietrza, czujniki, Arduino, mikrokontrolery

Design of a measuring station using Arduino and sensors to monitor air parameters

Abstract: The article presents the analysis and potential of the wide use of the Arduino platform in monitoring important air parameters using relatively cheap environmental sensors. For research purposes, selected sensors were tested as part of a conceptual design, using a static approach in stable conditions and a dynamic approach in rapidly changing environmental conditions. A computer program and the Arduino platform were used to analyze individual data. The obtained results show the prospects for the application of the project, confirming the usefulness, effectiveness and consistency of the data recorded by the sensors.

Keywords: air quality, sensors, Arduino, microcontrollers

Przeważnie zawiera określoną liczbę pinów I/O, pinów analogowych, pinów zasilania, pinów I2C oraz SPI, oscylatory kwarcowe, złącza USB, gniazda DC, przycisk RESET oraz inne elementy. Programowanie urządzenia odbywa się najczęściej za pośrednictwem środowiska Arduino IDE. Ta wieloplatformowa aplikacja pozwala na użycie takich języków jak Java, C, C++ i Python oraz jest kompatybilna ze wszystkimi systemami Windows, Linux, MacOS. Programowanie Arduino stało się znacznie bardziej funkcjonalne dzięki możliwości rozszerzenia

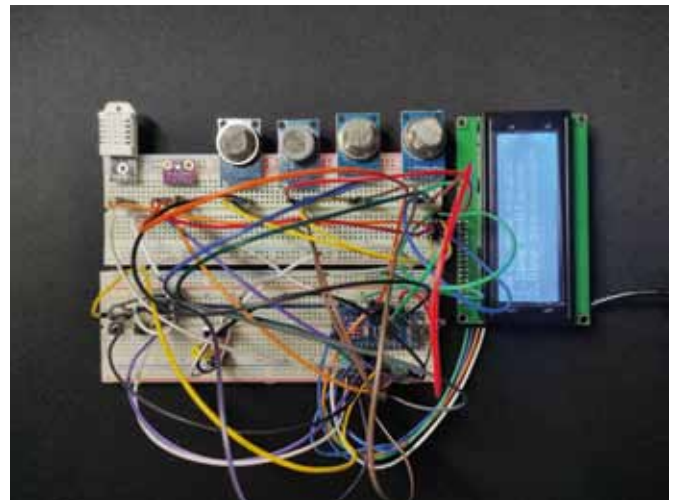
bibliotek pozwalających na wydajniejszą pracę ze sprzętem oraz manipulowaniem danymi. Jedną z głównych i ważnych funkcjonalności mikrokontrolera jest odczytywanie danych wyjściowych sygnału z różnego rodzaju czujników, np. czujnik temperatury i wilgotności, czujnik ciśnienia, czujniki stężenia różnych gazów w powietrzu. Do tego wykorzystywane są określone biblioteki czujnika, które zawierają instrukcję sterowania i typ wysyłanego sygnału. Mikrokontroler odczytuje dane, które wysłano z czujnika za pomocą metody analogowej lub cyfrowej. Metoda analogowa polega na obserwowaniu zmiany generowanego napięcia wytwarzanego przez czujnik analogowy i przetworzeniu go w taki sposób, aby odzwierciedlał dane rzeczywiste. Natomiast metoda cyfrowa czyta wartości dyskretne, czyli 0 lub 1, które są sygnałami binarnymi/cyfrowymi pochodzącymi od czujnika cyfrowego. Dzięki tym metodom mikrokontroler Arduino może obsługiwać różnego rodzaju czujniki cyfrowe i analogowe w zastosowaniu praktycznym.



Rys. 1. Przykładowa oryginalna płytka Arduino UNO R3

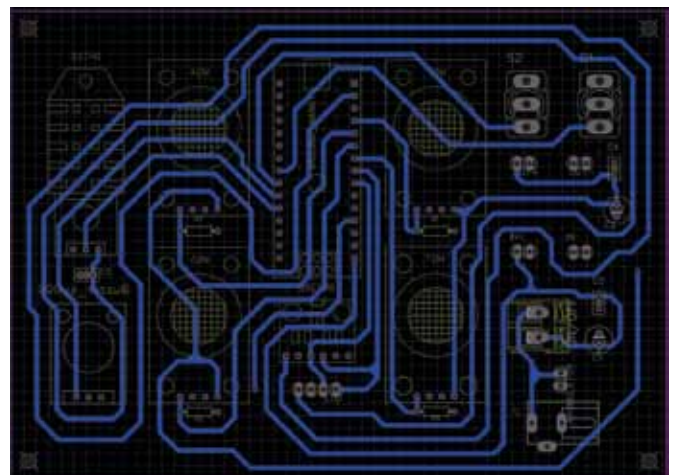
Opis konstrukcji i elementów systemu pomiarowego

Do sprawdzenia i oceny użyteczności oraz wydajności tanich czujników monitorujących parametry środowiska, wykonano tymczasowy system pomiarowy składający się z czujników termicznych oraz gazowych opartych na mikrokontrolerze Arduino Nano V3 (rys. 2.) [2].



Rys. 2. Prototypowy system pomiarowy oparty na mikrokontrolerze Arduino Nano V3

Konstrukcja stacji została zaprojektowana w taki sposób, aby zapewnić stałą i stabilną propagację prądu i napięcia do elementów obwodu elektrycznego, dzięki czemu zostaną zredukowane szумы i błędy podczas działania sprzętu. Tymczasową bazą, na której umieszczone zostały elementy elektroniczne są płytki stykowe, które stanowią element pasywny. Finalnie projekt wykonano na zaprojektowanej płytce PCB o wymiarach 12×8 cm w popularnym programie inżynierskim Eagle firmy Autodesk (rys. 3.).



Rys. 3. Wizualizacja płytki PCB wraz z połączeniami pomiędzy elementami systemu

Do połączenia każdego elementu elektronicznego w jedną całość wykorzystano przewody męsko-męskie oraz żeńsko-męskie. W projekcie do stabilnej propagacji prądu i napięcia do każdego czujnika zastosowano popularny liniowy stabilizator napięcia LM7805 [3]. Układ zasilania stanowi prosty zasilacz 9 V/1 A prądu stałego, który doprowadza napięcie równoległe do mikrokontrolera i regulatora napięcia. Układ sterowania systemu pomiarowego tworzy użyty mikrokontroler Arduino Nano V3 zasilany napięciem 9 V, który zapewnia odczyt danych oraz dwa przyciski Tact Switch, które zaprogramowano w celu

przełączania pomiędzy wyświetlaniem określonych danych kolejnych czujników na wyświetlaczu. Do wygodnej analizy wyników wykorzystano uniwersalny wyświetlacz HD44780 LCD 4x20, który przedstawia czytelne dane pomiarowe np. w sposób liczbowy, zasilany napięciem 5 V [4]. Układ pomiarowy składa się z czujników takich jak MQ2, MQ4, MQ5, MQ7, DHT22 oraz BMP280. Opcjonalnie do projektu dodano mały buzzer z generatorem, służący do sygnalizowania osiągnięcia określonego poziomu stężenia gazu. Każdy element (rys. 4.) użyty do utworzenia stacji pomiarowej został sprawdzony przed przystąpieniem do pomiarów. Dodatkowo wykorzystano kondensatory o pojemności 330nF oraz 100nF, które pomagają stabilizować napięcie w stabilizatorze LM7805.

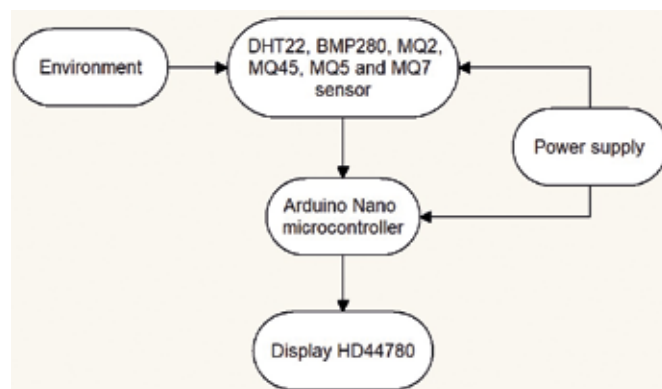


Rys. 4. Arduino Nano V3 (a), LM7805 (b), Tact Switch (c), Buzzer (d), czujnik DHT22 (e), czujnik BMP280 (f), czujnik MQ2 (g), czujnik MQ4 (h), czujnik MQ5 (i), czujnik MQ7 (j), wyświetlacz HD44780 (k), zasilacz (l), płytki stykowe (m), kondensator 330nF (n), kondensator 100nF (o)

Do tego projektu wybrano czujnik temperatury i wilgotności DHT22, ponieważ jest to jeden z najbardziej powszechnie stosowanych tanich czujników w projektach inżynierskich [5]. Temperatura pracy tego czujnika wynosi od -40°C do 80°C z dokładnością do 0.1°C , natomiast zakres pomiaru wilgotności wynosi $0 - 100\%$ z rozdzielczością 0.1% i dokładnością $2 - 5\%$ RH. Czujniki MQ2, MQ4, MQ5 oraz MQ7 stanowią klasę tanich czujników gazów o dużej wydajności pomiarowej [6] [7] [8] [9]. Są podobne do siebie pod względem zakresu wykrywania gazów, które wynoszą pomiędzy $10 - 10000$ jednostek ppm. Temperatura ich pracy wynosi -20°C do 50°C . Czujnik BMP280 jest popularnym sensorem ciśnienia atmosferycznego, który umożliwia pomiar w zakresie od 300 hPa do 1100 hPa [10]. Zakres temperatury jego pracy wynosi -40°C do 85°C , a dokładność pomiaru wynosi 1 hPa . Napięcie nominalne zasilania wszystkich czujników wynosi 5 V . System komunikacji czujników pomiędzy Arduino oparto na jednej magistrali sygnałowej analogowej i cyfrowej, natomiast wyświetlacz HD44780 oraz czujnik BMP280 oparto na dwóch magistralach SCL i SDA, kolejno sygnał zegara i linia danych. Czujniki MQ2, MQ4, MQ5 oraz MQ7 zostały podłączone do Arduino kolejno do pinów analogowych A0, A1, A2, A3. Czujnik DHT22 został

podłączony do pinu cyfrowego D2, natomiast czujnik BMP280 jak i wyświetlacz HD44780 podłączono do dwóch pinów I2C, czyli SCL i SDA, które odpowiadają pinom Arduino kolejno A5 i A4. Buzzer załączono do pinu cyfrowego D3, natomiast przyciski Tact Switch podpięto do pinów cyfrowych D4 i D5.

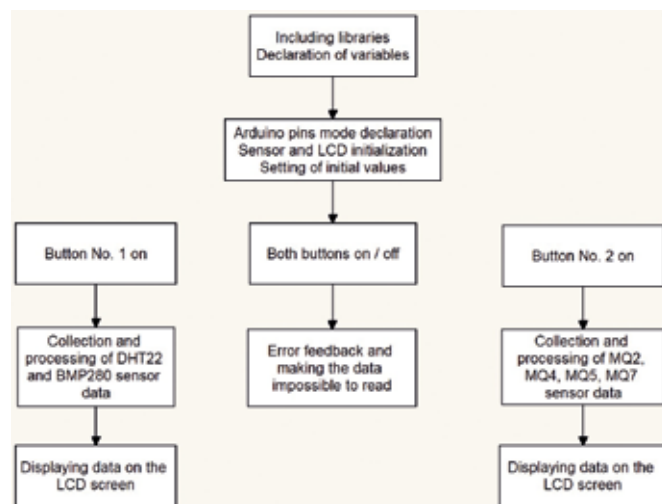
Do pełnego zrozumienia idei działania i sposobu komunikacji każdego elementu elektronicznego (rys. 5.), wykonano prosty diagram blokowy, w którym zawarte są połączenia między najważniejszymi segmentami mechanizmu.



Rys. 5. Schemat blokowy systemu pomiarowego

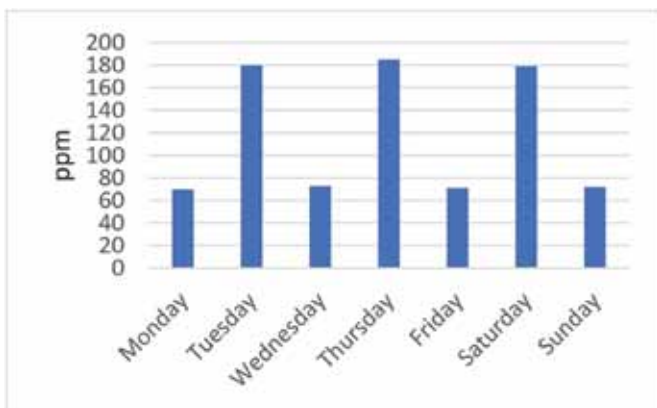
Analiza wyników

Do sprawdzenia użyteczności i funkcjonalności idei projektu wybrano do doświadczenia spośród kilku czujników czujnik MQ7 oraz czujnik DHT22. Program obsługujący cały system napisano w środowisku programistycznym Arduino IDE w języku C [11], gdzie zastosowano funkcje zgodne z wytycznymi programu Arduino. Ideę działania kodu (rys. 6.) przedstawiono w postaci prostego schematu, który wyjaśnia, w jaki sposób program wykonuje swoje zadanie i steruje różnymi czynnościami.



Rys. 6. Schemat blokowy działania programu

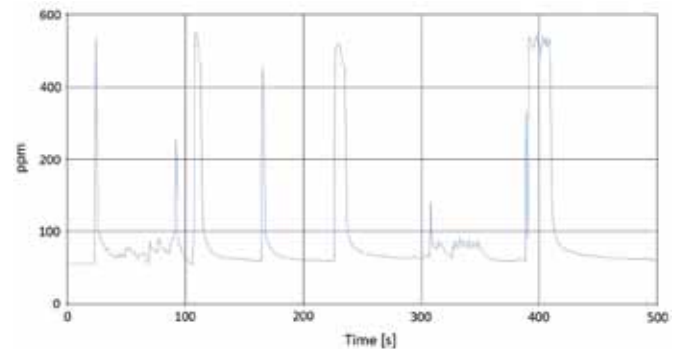
Głównym zadaniem czujnika MQ7 jest rejestrowanie stężenia tlenu węgla w otaczającym go środowisku. Jego występowanie zanieczyszcza powietrze i powoduje powstanie uszczerbku na zdrowiu człowieka, nawet w niewielkich ilościach [12]. Związek ten jest bezwonny i nie bez powodu nazywany „cichym zabójcą”, dlatego powinno się korzystać z czujnika, który jest przystosowany do wykrycia tego gazu. W ramach eksperymentu do oszacowania przydatności, precyzji i powtarzalności pomiarów, czujnik MQ7 został poddany próbie odczytywania zawartości tlenu węgla CO w powietrzu w pokoju biurowym, ale o zmiennej i jednocześnie stałej wartości tego związku w temperaturze pokojowej. Pierwszy dzień wskazuje stężenie CO w środowisku wentylowanym, natomiast kolejny dzień informuje o stężeniu CO w środowisku lekko zanieczyszczonym, ale o stałej wartości. Z wykresu (rys. 7.) wyraźnie widać, że precyzja powtarzalności tego czujnika jest na bardzo wysokim poziomie. Zauważono, że tani czujnik środowiskowy w warunkach stabilnych potrafi wytrzymać i wskazywać dane, które są identyczne przez cały okres doświadczenia.



Rys. 7. Wykres dobowy średniego stężenia tlenu węgla CO w warunkach środowiskowych stabilnych odczytywanych przez czujnik MQ7 w ciągu 7 dni

Podany niżej wykres (rys. 8.) przedstawia zmiany stężenia CO w powietrzu w środowisku, w którym stężenie tego związku zmienia się dynamicznie. Od momentu podania tlenu węgla CO blisko głowicy czujnika, momentalnie odczytano wzrost zawartości szkodliwego związku chemicznego w jego otoczeniu i tym samym program załączył głośnik alarmujący. W czasie, kiedy ogólnie w otoczeniu była określona zawartość tlenu węgla CO, pozyskana informacja sygnału analogowego od czujnika nie był gwałtowna i należało odczekać do kilkunastu sekund, aby czujnik mógł zauważyć jakikolwiek wzrost stężenia czynnika szkodliwego, co zobrazowało lekkimi fluktuacjami wykresu. Zauważono, że czujnik bardzo szybko reaguje na zmiany parametrów środowiska. Jego powtarzalność w tym przypadku jest na równie dobrym poziomie. Zaobserwowano stabilność pracy czujnika po wielu próbach zmęczenia pomimo drastycznie zmieniających się parametrów środowiska, co świadczy o jego przydatności i wysokiej wydajności. W obu

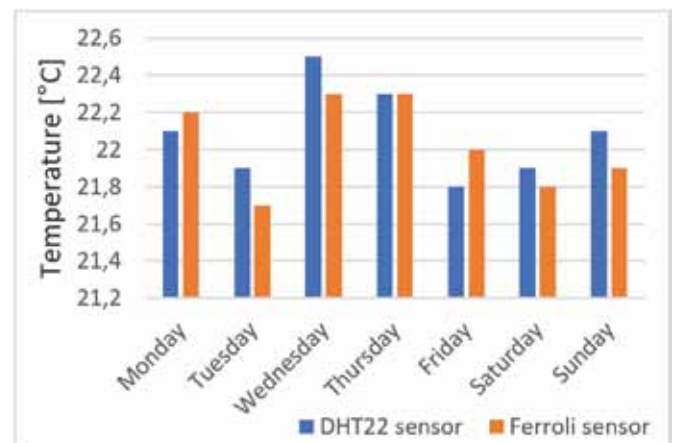
przypadkach środowiska, wyniki pozostałych czujników gazu, czyli MQ2, MQ4 oraz MQ5 były identyczne, mianowicie wskazania poszczególnych czujników były proporcjonalne do stężenia tego związku w ich otoczeniu.



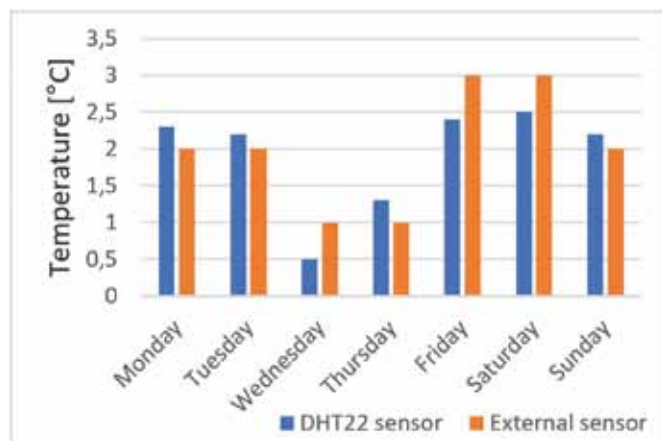
Rys. 8. Wykres stężenia tlenu węgla CO w warunkach środowiskowych dynamicznych odczytywanych przez czujnik MQ7 w ciągu 5 minut

Czujnik DHT22 sprawdza wartość temperatury i wilgotności środowiska, w którym się znajduje. Są to parametry, które powinny być odczytywane praktycznie w każdym miejscu, szczególnie wartość temperaturowa, np. w budynku/pomieszczeniu, laboratorium, hali produkcyjnej itd.

Aby oszacować precyzję i dokładność pomiarów czujnika DHT22 wykonano eksperyment polegający na umieszczeniu tego czujnika w temperaturze pokojowej w pokoju biurowym oraz w temperaturze zewnętrznej na podwórku w ciągu 7 dni bez przerwy. Dane temperaturowe z czujnika DHT22 porównano z profesjonalnym czujnikiem do automatyki domowej firmy Ferroli (rys. 9.) oraz normalnym czujnikiem przeznaczonym do użytku zewnętrznego (rys. 10.) [13]. Zaobserwowano, że wartości wskazywane przez tani czujnik temperatury są identyczne względem sensorów z wyższej półki cenowej. Czujnik pomimo środowiska z niską temperaturą dorównywał czujnikowi przeznaczonemu do tego otoczenia.



Rys. 9. Wykres porównania średniej dobowej temperatury pokojowej czujnika DHT22 oraz czujnika Ferroli w ciągu 7 dni.



Rys. 10. Wykres porównania średniej dobowej temperatury zewnętrznej czujnika DHT22 oraz czujnika Ferrola w ciągu 7 dni w okresie zimowym

Podsumowanie

W niniejszym artykule zaprezentowano rezultaty pomiarów efektywności innowacyjnego projektu przenośnego lub stacjonarnego systemu pomiarowego, wykorzystującego mikrokontroler Arduino oraz zaawansowane czujniki do rejestracji istotnych parametrów otoczenia. Głównym celem analizy było udowodnienie praktyczności i ekonomiczności tego rozwiązania w pozyskiwaniu danych dotyczących warunków środowiskowych praktycznie w każdym miejscu.

Wyniki pomiarów demonstrują rzeczywistą dokładność, niezawodność oraz znaczną wydajność pomiarową tanich elektronicznych czujników dostępnych na rynku, zarówno w stabilnym jak i dynamicznie zmieniającym się środowisku. Przy przyjętych założeniach projektu wartości przedstawione na wykresach potwierdzają, że możliwe jest opracowanie niedrogiego, precyzyjnego oraz wszechstronnego urządzenia do pomiaru parametrów otoczenia. Szybkość działania programu i czujników, które odczytują sygnały analogowe z otoczenia, ukazują ogromny potencjał tego projektu w praktycznym zastosowaniu.

W celu zwiększenia mobilności urządzenia, istnieje możliwość podłączenia systemu do kompaktowego akumulatora, co umożliwia jego długotrwałe użytkowanie bez konieczności dostępu do sieci energetycznej. Dzięki miniaturyzacji projektu oraz wykorzystaniu wielu czujników, otwiera się wiele perspektyw, takich jak zastosowanie w dronach do monitorowania emisji z kominów domowych czy przemysłowych. Czujniki mogą również znaleźć zastosowanie w regulacji parametrów powietrza w systemach rekuperacji domowej. Projekt umożliwia także wykorzystanie łączności bezprzewodowej, np. Wi-Fi, co pozwala na połączenie wielu urządzeń i rozszerzenie zakresu stosowalności systemu na większą skalę. Przy odpowiedniej

kalibracji, system ten może być skuteczny w wykrywaniu nawet minimalnych ilości szkodliwych substancji chemicznych, co może być szczególnie przydatne w laboratoriach.

Prace badawcze nad projektem będą kontynuowane z uwzględnieniem aspektów usytuowania, wytrzymałości, precyzji i dalszej miniaturyzacji całego systemu. Wprowadzenie ewentualnych udoskonaleń ma na celu dalsze zwiększenie użyteczności oraz wszechstronności tego innowacyjnego rozwiązania.

LITERATURA

- [1] <https://www.arduino.cc/en/Main/Products/>
- [2] <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>
- [3] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>
- [4] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/63673/HITA-CHI/HD44780.html>
- [5] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [6] <https://cdn.sparkfun.com/assets/3/b/0/6/d/MQ-2.pdf>
- [7] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
- [8] https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Gas_Sensor-MQ5/res/MQ-5.pdf
- [9] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- [10] <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
- [11] <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- [12] <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id1585,tlenek-i-dwutlenek-wegla-w-pomieszczeniach?p=4>
- [13] https://www.ferrol.com/media/Foglio%20Istruzioni%20013110XA%20OSCAR%20W_1.pdf

Autorzy:

Alan Kondrusik
Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny
Białystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering,
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45D
kondrusik.alan@gmail.com

Agnieszka Choroszucho
Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny
Białystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering,
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45D
a.choroszucho@pb.edu.pl

Damian Orzechowski
Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny
Białystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering,
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45D
damian.orzechowsky@outlook.com