

Wybrane sensory w mikroprocesorowym monitorowaniu parametrów środowiskowych powietrza

Jakub Faber , Eugeniusz Ziółkowski 

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, Kraków

Streszczenie: W artykule omówiono zagadnienie jakości powietrza w środowisku pracy oraz jego wpływu na pracowników – ich zdrowie, samopoczucie i produktywność. Przytoczono często spotykane parametry środowiskowe wpływające na jakość powietrza, źródła powstawania i negatywne skutki wystawienia się na ich działanie. Na podstawie popularnych zanieczyszczeń powietrza spotykanych w przemyśle odlewniczym dobrano sensory oraz mikrokontroler o zadowalających parametrach, w celu skonstruowania prototypu mikroprocesorowego systemu do pomiaru parametrów środowiskowych. Układ zmontowano oraz dokonano odpowiednich działań programistycznych w celu sfinalizowania przyjętych założeń. Przedstawiono metody odczytu parametrów, zmierzono natężenie prądu i rozważono dalsze możliwości modyfikacji i rozbudowy systemu.

Słowa kluczowe: jakość powietrza, sensory, mikrokontroler, przemysł odlewniczy, parametry środowiskowe

SELECTED SENSORS IN MICROPROCESSOR-BASED MONITORING OF ENVIRONMENTAL AIR PARAMETERS

Abstract: This article discusses the issue of air quality in the workplace and its impact on employees – their health, well-being, and productivity. It debates commonly encountered environmental parameters affecting air quality, sources of their formation, and the negative effects of exposure to them. Based on popular air pollutants found in the foundry industry, sensors and a microcontroller with satisfactory parameters were selected to construct a prototype microprocessor system for measuring environmental parameters. The system was assembled and appropriate programming actions were taken to finalize the adopted assumptions. Methods for reading parameters were presented, current measurements were conducted, and further possibilities for system modification were considered.

Keywords: air quality, sensors, microcontroller, foundry industry, environmental parameters

https://doi.org/10.7494/978-83-68219-19-7_4

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się znaczny wzrost świadomości na temat jakości powietrza oraz jego wpływu na zdrowie i życie. Przeprowadzane są kolejne badania, mające na celu zgłębienie wiedzy o danych substancjach, analizę konsekwencji wystawiania się na ich działanie w różnym natężeniu, a także sporządzenie odpowiednich rekomendacji i wytycznych dotyczących dopuszczalnych stężeń dla ochrony zdrowia i życia człowieka. Telebimy umieszczane w często uczęszczanych sferach miasta, informujące o aktualnym stanie jakości powietrza oraz ostrzegające w przypadku przekroczenia norm nie są już rzadkością, tak samo jak szereg aplikacji i stron internetowych o podobnym działaniu.

Tematyka ta jest nie mniej ważna w kontekście miejsca pracy ze względu na ilość czasu, jaki spędza w nim człowiek, oraz potencjalne konsekwencje, jakie niesie jej zaniedbanie. Długotrwała ekspozycja na zły jakości powietrze może powodować złe samopoczucie oraz osłabiać percepcję pracownika, co nie tylko przekłada się na jego zdrowie, ale również produktywność. Wystawianie się na szczególnie wysokie stężenia niebezpiecznych substancji może skutkować nawet śmiercią.

Dla każdego środowiska pracy charakterystyczne są inne faktory, które należy kontrolować w celu zapewnienia zdrowia i bezpieczeństwa. W przemyśle odlewniczym w zależności od jego specyfikacji wykorzystuje się wiele substancji potencjalnie szkodliwych, co wyróżnia go na tle innych.

W zależności od możliwości finansowych przedsiębiorstwa i rodzajów związków wykorzystuje się różne metody redukcji negatywnego ich wpływu na człowieka. Podstawowym sposobem profilaktyki jest system odciągów, wentylacji i klimatyzacji rozmieszczony w sposób optymalny i prawidłowy oraz działający bezawaryjnie. Skutecznym narzędziem są również wszelakie systemy monitorujące aktualne stężenia danych substancji, alarmujące w przypadku przekroczenia dopuszczalnych dla zdrowia i życia poziomów. Takie rozwiązania pozwalają na ciągłe ich udoskonalanie i dostosowywanie do zmieniających się norm, a także okresowe raportowanie wyników pomiarów, co ma bezpośrednie przełożenie na bezpieczeństwo pracowników, komfort ich pracy oraz osiągi przedsiębiorstwa.

2. Wybrane parametry do pomiarów środowiskowych w przemyśle odlewniczym

Głównymi parametrami określającymi jakość powietrza, wykorzystywanymi nawet w podstawowych systemach są: temperatura i wilgotność oraz ciśnienie atmosferyczne. Temperatura oraz wilgotność są ze sobą fizycznie powiązane i wpływają na komfort cieplny pracownika – im wyższa jest temperatura, tym więcej wody (pary wodnej) może wiązać się z powietrzem. Wzrost wilgotności powietrza powoduje również spadek jego cyrkulacji, co może przyczyniać się do zmniejszonej zdolności do samoczynnego usu-

wania zanieczyszczeń i szkodliwych związków z atmosfery oraz sprzyjać rozwojowi bakterii i wirusów. Zbyt suche powietrze wpływa na wysuszenie oczu ze względu na mniej skuteczne oczyszczanie rzęskowe, a także sprzyja krzepnięciu krwi. Optymalna temperatura pod względem prawidłowego funkcjonowania człowieka i jego wydajności zawiera się między 22°C a 24°C (Onabanjo 2023).

Wskutek niepełnego spalania węgla w paliwie powstaje tlenek węgla, czyli niebezpieczny dla człowieka gaz, nazywany potocznie czadem. Jest on bezbarwny, bezwonny, bezsmakowy i niedrażniący. Cechy te sprawiają, że tak ważne jest monitorowanie jego stężenia w obszarach narażonych na jego podwyższone natężenie. Częstym jego źródłem są niewłaściwie wentylowane urządzenia grzewcze. Tlenek węgla przyjęty przez człowieka szybko dostaje się do krwioobiegu, łącząc się z hemoglobina, która jest nośnikiem tlenu w organizmie. Powstaje wówczas karboksyhemoglobina, co powoduje znaczne zmniejszenie ilości tlenu dostarczanego do organów i tkanek. Nawet niewielkie stężenia tego gazu mają wpływ na ludzki organizm. W zależności od stopnia zatrucia objawami mogą być nudności, bóle i zawroty głowy czy nawet śpiączka. Zatrucie CO znacznie wpływa na układ nerwowy, a zaburzenia w nim dokonane pojawiają się z opóźnieniem (Raub i Benignus 2002).

Szkodliwe skutki zmian ciśnienia atmosferycznego są znane w szczególnych przypadkach, gdy jego zmiany są znaczne (nurkowanie, wspinaczka górską), podczas gdy w normalnych warunkach pracy lub codziennego funkcjonowania wpływ ciśnienia atmosferycznego na zdrowie i śmiertelność jest ciągle badany ze względu na zbyt duży wpływ między innymi temperatury i wilgotności powietrza na zdrowie badanych, jak i samego ciśnienia atmosferycznego na wzorce cyrkulacji mas powietrza, przez co rezultaty badań nie są jednoznaczne. Zwiększona śmiertelność występuje zarówno przy obniżonym, jak i podwyższonym względem normy ciśnieniu atmosferycznym. Wpływ na człowieka objawia się przeważnie nasileniem bólu, symptomów depresji. Odnotowuje się również zwiększone ryzyko chorób mózgowo-naczyniowych i sercowo-naczyniowych (Ou i in. 2024).

Cząstki stałe (PM – *particulate matter*) to kolejny powszechny parametr jakości powietrza, mający destrukcyjny wpływ na zdrowie. Definiuje się go jako mieszanina niewielkich cząstek i kropelek cieczy, w której skład mogą wchodzić zarówno kwasy, związki organiczne jak i metale cząstki gleby i pyłu. W przemyśle, częstym źródłem emisji PM jest spalanie w procesach przemysłowych oraz emisje pojazdów. Wiele publikacji, wskazuje na ich szkodliwość dla układu sercowo-naczyniowego oraz układu oddechowego, co przekłada się na zwiększoną zachorowalność i śmiertelność (Anderson i in. 2012).

Rozległą grupą związków, szczególnie niebezpieczną oraz powszechnie spotykaną w przemyśle odlewniczym są lotne związki organiczne LZO (VOC – *volatile organic compounds*), których znaczna część może powodować u człowieka podrażnienia zmysłów, objawy oddechowe i nowotwory. Reprezentują one zbiór związków, które w swojej strukturze cząsteczkowej posiadają co najmniej jeden atom wodoru oraz węgla.

W skład VOC wchodzi między innymi często pojawiające się w ogólnie pojętym przemyśle substancje jak alkohole, aceton, benzen i formaldehyd, który w odlewnictwie wykorzystywany jest w szerokim zakresie mas utwardzanych na gorąco, czy też żywicach formaldehydowych. Człowiek ma styczność z lotnymi związkami organicznymi, głównie przez inhalacje – ich źródłami mogą być nawet przedmioty codziennego użytku (materiały budowlane, kosmetyki), emitujące je w postaci gazowej. Tempo emisji zależy od wielu czynników i może być intensyfikowane w zależności od ilości składników w materiale, jego wieku czy wilgotności (Rumchev i in. 2007).

Wspomniane wcześniej alkohole stanowią rozległą podgrupę lotnych związków organicznych. Do najbardziej powszechnych, zalicza się między innymi etanol. Jest to bezbarwna, lotna i łatwopalna ciecz stosowana w szerokim zakresie jako rozpuszczalnik. W przemyśle, pracownik narażony jest na jego szkodliwe działanie nie tylko bezpośrednio, ale także poprzez drogi oddechowe i w przypadku miejscowego kontaktu ze skórą. Ekspozycja na ten związek działa drażniąco i depresyjnie na ośrodkowy układ nerwowy, przez co może znacząco przekładać się na zdolność percepcji podczas pracy (Lachenmeier 2008). Przykładem zastosowania alkoholu w odlewnictwie mogą być wszelakie powłoki ochronne, nanoszone na formy i rdzenie w celu poprawy jakości odlewu. Pokrycia te, zabezpieczają przed przypaleniami (przywarciem materiału formy do odlewu), zmniejszają chropowatość odlewu i ułatwiają jego wybicie. Mają one bezpośredni kontakt z wysokimi temperaturami, co powoduje ich wypalanie oraz odparowywanie alkoholu (Kamińska i in. 2018).






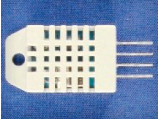

3. Sensory parametrów środowiskowych

Systemy pomiaru jakości powietrza są podstawowym narzędziem profilaktycznym w wielu miejscach pracy. Mnogość parametrów branych pod uwagę i zwiększająca się z roku na rok świadomość, skłania pracodawców do inwestowania w rozbudowane systemy kontroli. Rolę odbioru odpowiednich sygnałów z otoczenia i rejestrowania ich pełnią czujniki. Szeroka gama sensorów pozwala na ich dobór względem danej substancji, sposobu i pożądanego zakresu jej wykrywania, a także dostosowanie do możliwości finansowych.

W tabeli 1 przedstawiono wybrane sensory, wykorzystane do wykonania prototypu mikroprocesorowego systemu pomiarów środowiskowych w kontekście hal odlewniczych. Wybór padał na czujniki, które dokonują pomiaru najbardziej uniwersalnych parametrów pod kątem przemysłu odlewniczego, z zadowalającymi parametrami i zakresami pomiarowymi. Warunki użytkowania sensorów zweryfikowano z rzeczywistymi warunkami panującymi na halach odlewniczych oraz przed użyciem skalibrowano, zgodnie z dostarczoną przez producenta dokumentacją.

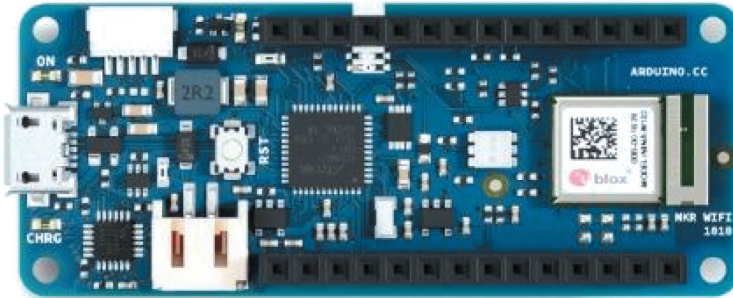
Tabela 1

Przedstawienie wykorzystanych do wykonania prototypu czujników oraz ich charakterystyk (Aesong Electronics Co., Ltd., Bosch 2018, Hanwei Electronics Co., Ltd. a, b, Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Ltd. 2017a, b, 2019, 2020, Sensirion 2020)

						
Wygląd modułu						
Czujnik	GM-102B, GM-302B, GM-502B, GM-702B	MQ-135	MQ-7	BMP388	DHT22	SPS30
Producent	Grove	Waveshare	Waveshare	DFRobot Gravity	Aesong Electronics	Sensirion
Interfejs komunikacyjny	I ² C	SPI	SPI	I ² C, SPI	SPI	I ² C, UART
Wykrywany parametr	Dwutlenek azotu, etanol, LZO, tlenek węgla	Alkohol, benzen, amoniak	Tlenek węgla	Cisnienie atmosferyczne	Temperatura, wilgotność	PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10.0
Zakres pomiarowy	0,1–10 ppm, 1–500 ppm, 1–500 ppm, 5–5000 ppm	10–300 ppm 10–1000 ppm 10–300 ppm	20–2000 ppm	300–1250 hPa	–40°C–80°C, 0–100% RH	1–1000 µg/m ³

4. Realizacja prototypu

Arduino MKR WiFi 1010 to mikrokontroler opracowany przez włoską firmę Smart Projects. Został on wybrany do obsługi projektowanego układu. Wygląd płytki przedstawiono na rysunku 1.



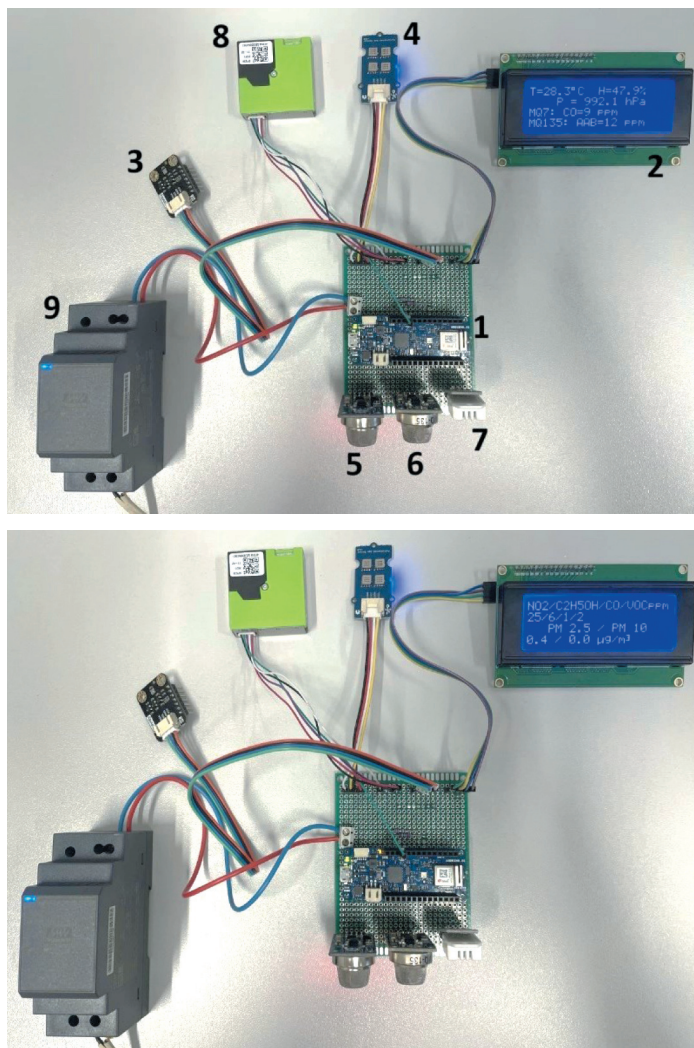
Rys. 1. Wygląd Arduino MKR WiFi 1010 (Arduino 2024)

Moduł jest przeznaczony do projektów wykorzystujących technologię internetu rzeczy (IoT), z tego powodu jednym z podzespołów jest moduł Wi-Fi, Nina W102. Oprócz niego zgodnie z poprzednimi urządzeniami MKR 1000 obsługuje również technologię Bluetooth. Arduino MKR WiFi 1010 wyposażony jest w układ Atmel ATSAM D21, posiadający 256 kB pamięci Flash i 32 kB pamięci SRAM. Głównym procesorem jest ARM Cortex M0, który pracuje z częstotliwością do 48 MHz. Mikrokontroler wyposażono w osiem wejść/wyjść cyfrowych, siedem wejść analogowych o rozdzielczości 8/10/12 bitów, dwaście kanałów PWM oraz 10-bitowe analogowe wyjście przetwornika DAC. Obsługuje popularne interfejsy komunikacyjne, takie jak SPI, UART i I²C. Moduł ten wymaga zasilacza o napięciu 5V, może być też zasilany przez komputerowe gniazdo USB połączone z portem microUSB. Istnieje również możliwość zasilania go przy wykorzystaniu akumulatora o napięciu 3,7 V i minimalnej pojemności 700 mAh (Arduino 2024).

Dodatkową zaletą wyboru mikrokontrolera tej firmy jest zbiór narzędzi (Arduino IDE, Arduino IoT Cloud), udostępnianych za darmo przez producenta. Arduino IDE (Integrated Development Environment) to otwarte środowisko programistyczne bazujące na językach programowania C/C++. Ułatwia ono znacznie pisanie i przesyłanie kodu do mikrokontrolera – także zaawansowanym użytkownikom (Pacelt 2021).

Pierwszy prototyp wykonano przy użyciu płytki stykowej. Wykorzystanie jej miało na celu przyspieszenie weryfikacji poprawności montażu elektronicznego i przetestowania funkcjonowania poszczególnych podzespołów układu. Kod źródłowy programu obsługującego proces był rozszerzany stopniowo wraz z kolejnymi etapami pracy.

Druga, właściwa wersja prototypu była zmontowana na uniwersalnej płytce prototypowej z metalizowanymi otworami. Pozwoliło to na zastąpienie połączeń stykowych i umożliwienie łatwego podłączania i/lub wymiany poszczególnych komponentów układu przez zastosowanie gniazd i złączy. Rysunek 2 przedstawia prototyp z oznaczeniami wykorzystanych komponentów i przykładowymi wynikami pomiarów.

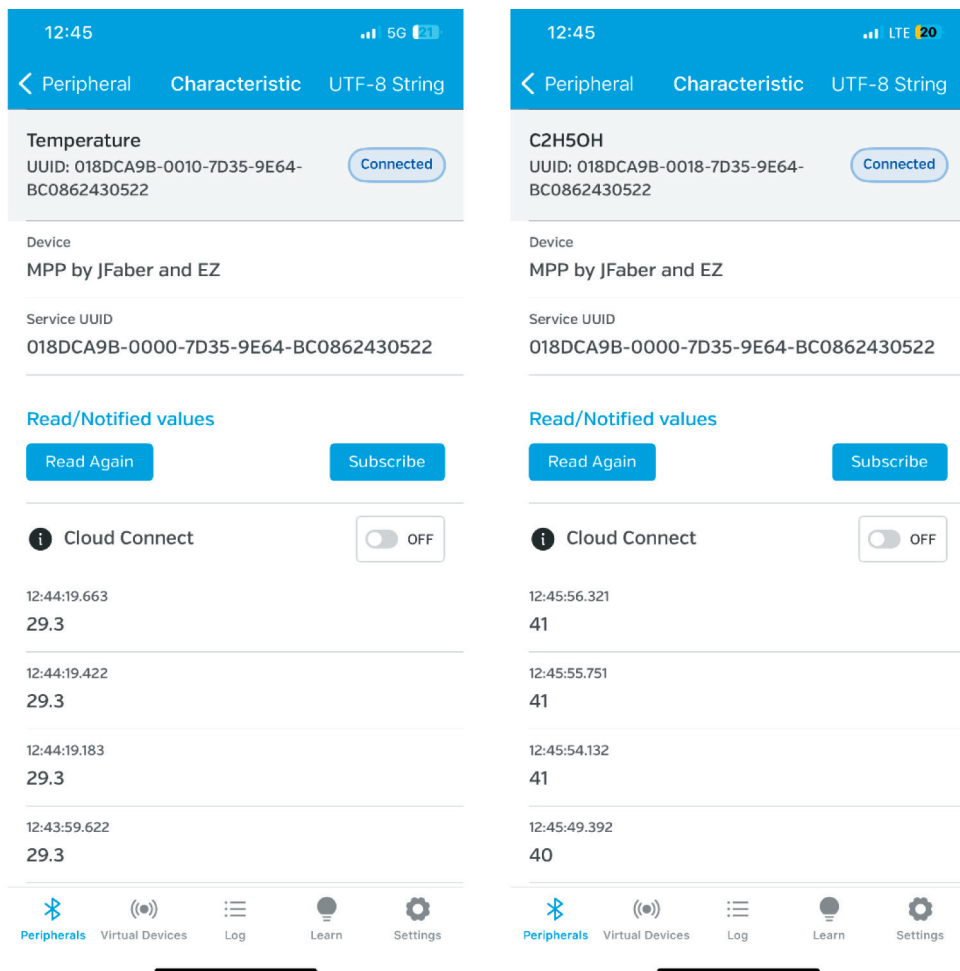


Rys. 2. Widok drugiej wersji prototypu (z dwoma ekranami wyświetlanych wyników pomiarów):
1 – mikrokontroler Arduino MKR WiFi 1010, 2 – wyświetlacz LCD, 3 – czujnik ciśnienia i wysokości BMP388, 4 – czujnik Multichannel Gas Sensor, 5 – czujnik tlenku węgla MQ-7, 6 – czujnik tlenku węgla MQ-135, 7 – czujnik temperatury i wilgotności DHT22, 8 – czujnik pyłu SPS30, 9 – zasilacz

Układ jest zasilany napięciem stałym +5 V z zastosowaniem zasilacza sieciowego 230 V AC. Uniwersalna płytka prototypowa zwiększyła mobilność urządzenia i zmniejszyła szansę na jego uszkodzenie w transporcie. Przeprowadzono szereg działań programistycznych we wcześniej wspomnianym środowisku Arduino IDE, by sfinalizować cechy funkcjonalne programu. W ramach potwierdzenia prawidłowości działania urządzenia wykonano szereg pomiarów zarówno w otwartych, jak i zamkniętych pomieszczeniach.

5. Możliwości odczytu przeprowadzonych pomiarów

Zrealizowano kilka możliwości odczytu przeprowadzonych pomiarów. Założeniem było wykorzystanie jednej z technologii bezprzewodowych, oferowanych przez użyty mikrokontroler. We współpracy z opiekunem badań wykonano oprogramowanie zezwalające na połączenie w technologii Bluetooth. Wyniki w ten sposób można wyświetlać na tablecie lub smartfonie z systemem Android lub iOS po wcześniejszym zainstalowaniu jednej z uniwersalnych aplikacji do odczytu protokołu Bluetooth, takich jak LightBlue lub nRF Connect. Przykładowe odczyty pomiarów z poziomu telefonicznej aplikacji LightBlue przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowe wyniki pomiarów parametrów środowiskowych (temperatura, stężenie etanolu), odczytane z poziomu telefonu komórkowego z systemu iOS w aplikacji LightBlue

Odczyt również może zostać przeprowadzony za pomocą opracowanego we współpracy z opiekunem badań programu komputerowego, pracującego w środowisku MS Windows. Widok z okna programu przedstawiający wyniki pomiarów zaprezentowano na rysunku 4.

Temperatura		Ciśnienie	Wilgotność	
°C		hPa	%	
27.6		992.1	48.0	
Stężenia gazów [ppm]				
Sensor	Gaz		Wartość	
MQ-7	CO		4	
MQ-135	Alkohol + Amoniak + Benzen		15	
MultiGAS	NO2		53	
	C2H5OH		21	
	CO		0	
	VOC		4	
Stężenia pyłów, $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
PM 1.0	PM 2.5	PM 4.0	PM 10.0	
6.7	0.4	0.0	0.0	
Rozłącz		MPP by JFaber and EZ		Stop

Rys. 4. Widok z programu komputerowego rejestrującego pomiary parametrów środowiskowych. Program został stworzony w Delphi 12.1

Do układu dołączono ekran LCD – został on oznaczony numerem 2 na rysunku drugim. Pozwala on na bieżąco wyświetlać wyniki pomiarów bez potrzeby łączenia się z urządzeniem. Ze względu na ograniczone miejsce zrezygnowano z ekranizacji frakcji pyłu PM1.0 i PM10.0, które rzadko brane są pod uwagę – wyświetlane są jedynie najważniejsze parametry z zachowaniem estetyki wizualnej (rys. 2). Znacznie ułatwia i przyspiesza to prawidłowy odczyt informacji przy jednoczesnym zachowaniu stosunkowo krótkiej przerwy pomiędzy kolejnymi iteracjami zmiany wyświetlacza. W razie potrzeby uzyskania kompletu informacji można skorzystać z wcześniej wymienionych aplikacji do odczytu protokołu Bluetooth (rys. 3) lub programu komputerowego (rys. 4), gdzie listowane są wszystkie parametry.

6. Podsumowanie

Jakość powietrza ma przełożenie na zdrowie i samopoczucie człowieka, a to oddziałuje na jego produktywność i dokładność podejmowanych działań. Nawet niewielkie przekroczenie norm może wpłynąć na zdolność percepcji, co często prowadzi do

wypadków, uszczerbków na zdrowiu, a nawet śmierci. Pomiar jakości powietrza jest jednym z podstawowych działań profilaktycznych, podejmowanych w miejscach pracy w ramach ochrony zdrowia i zwiększenia bezpieczeństwa pracowników. W tym celu wykonywane są systemy pomiaru parametrów środowiskowych, wyposażone w sensory o odpowiednio dobranych do danej branży i potrzeb parametrach.

Wybrano kilka parametrów środowiskowych w kontekście przemysłu odlewniczego, dobrano do nich sensory i wykonano system pomiaru poszczególnych wielkości. „Sercem” układu został mikrokontroler Arduino MKR WiFi 1010 z uwagi na możliwość wyświetlania wyników na wyświetlaczu LCD lub poprzez aplikację i protokół Bluetooth.

Przeprowadzono pomiar natężenia prądu stałego płynącego z zasilacza w wersji z włączonym i wyłączonym podświetleniem ekranu LCD. Przy włączonym podświetleniu natężenie prądu wyniosło 460 mA, a wyłączenie podświetlenia pozwoliło zredukować tę wartość do 420 mA. W przypadku modyfikacji prototypu do zasilania bateryjnego lub akumulatorowego należy zastosować wyświetlacz niskoprądowy lub zrezygnować z niego całkowicie przy zachowaniu przesyłu danych przez Bluetooth.

Zaletą systemów pomiaru jakości powietrza jest możliwość dowolnego ich rozwoju (na przykład wraz z rozwojem przedsiębiorstwa) i udoskonalania. W dużych przedsiębiorstwach przydatne może być wdrożenie do systemu możliwości tworzenia statystyk z pomiarów i raportowania ich w wymiarze tygodniowym, miesięcznym czy rocznym. Co więcej, gdy dane przedsiębiorstwo składa się z różnych działów i każdy z nich narażony jest na całkowicie inne niebezpieczeństwa związane ze szkodliwymi związkami, warte rozważenia byłoby wyposażenie pracowników w indywidualne systemy pomiarów parametrów środowiskowych zasilane bateryjnie. Pozwoliłoby to na uzyskanie informacji na temat zagrożeń występujących w danym dziale oraz dotyczących konkretnego pracownika.

Literatura

- Aesong Electronics Co., Ltd., *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)*.
- Anderson J.O., Thudiyi Anderson J.O., Thundiyil J.G., Stolbach A., 2012, *Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health*, Journal of Medical Toxicology. vol. 8, iss. 2, s. 166–175, <http://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>.
- Arduino, 2024, *Arduino MKR WiFi 1010, Product Reference Manual, SKU: ABX00023*, Modified: 18.03.2024.
- Bosch, 2018, *BMP 388 – Datasheet*, Version 1.1, BST-BMP388-DS-001-01.
- Hanwei Electronics Co., Ltd. a, *Technical Data MQ-7 Gas Sensor*.
- Hanwei Electronics Co., Ltd. b, *Technical Data MQ-135 Gas Sensor*.

- Kamińska J., Angrecki M., Palma A., Puzio S., 2018, *Charakterystyka wodnych i alkoholowych powłok ochronnych nowej generacji i ich wpływ na jakość warstwy wierzchniej odlewu*, Prace Instytutu Odlewnictwa, vol. 58, iss. 4, s. 227–234.
- Lachenmeier D.W., 2008, *Safety evaluation of topical applications of ethanol on the skin and inside the oral cavity*, Journal of Occupational Medicine and Toxicology, vol. 3, iss. 26, <http://doi.org/10.1186/1745-6673-3-26>.
- Onabanjo A.A., 2023, *Effects of Indoor Air Quality, Humidity and Temperature on Employees Health and Performance*, Web of Humanities: Journal of Social Science and Humanitarian Research, vol. 1, iss. 6, s. 8–18.
- Ou C., Yang J., Ou Q., Liu H., Lin G., Chen P., Qiyan J., Guo Y., 2024, *The Impact of Relative Humidity and Atmospheric Pressure on Mortality in Guangzhou, China*, Biomedical and Environmental Sciences, vol. 27, iss. 12, s. 917–925, <http://doi.org/10.3967/bes2014.132>.
- Pacelt O., 2021, *Prosto o Arduino IDE – co to jest?*, <https://botland.com.pl/blog/prosto-o-arduino-ide-co-to-jest/> [dostęp: 8.03.2024].
- Raub J.A., Benignus V.A., 2002, *Carbon monoxide and the nervous system*, Neuroscience & Behavioral Reviews, vol. 26, iss. 8, s. 925–940.
- Rumchev K., Brown H., Spickett J., 2007, *Volatile Organic Compounds: Do they present a risk to our health?*, Reviews on Environmental Health, vol. 22, iss.1, s. 39–55, <http://doi.org/10.1515/REVEH.2007.22.1.39>.
- Sensirion, 2020, *Datasheet SPS30, Particulate Matter Sensor for Air Quality Monitoring and Control*, Version 1.0–D1.
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Ltd., 2017a, *MEMS Alcohol Gas Sensor (Model No.: GM-302B) Manual*, Version 1.1.
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Ltd., 2017b, *MEMS Carbon Monoxide Gas Sensor (Model No.: GM-702B) Manual*, Version 1.1.
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Ltd., 2019, *MEMS NO2 Gas Sensor (Model No.:GM-102B) Manual*, Version 2.1.
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Ltd., 2020, *MEMS VOC Gas Sensor (Model No.: GM-502B) Manual*, Version 2.2.