



Konstrukcja i badania układów pomiarowych hałasu na potrzeby sieci sensorowej do monitorowania zagrożeń wibroakustycznych

dr inż. Leszek Morzyński^{a, b} (ORCID: 0000-0003-3534-3284)

mgr inż. Bartosz Tłuczkiewicz^a (ORCID: 0009-0002-9021-7790)

dr inż. Grzegorz Makarewicz^a (ORCID: 0000-0003-1405-8847)

dr inż. Grzegorz Szczepański^a (ORCID: 0000-0003-0390-1624)



Fot. Olivier Le Moa/Bigstockphoto

Hałas jest fizycznym czynnikiem zagrożeń, powszechnie występującym w środowisku pracy. W celu ograniczenia ryzyka powstawania trwałych uszkodzeń słuchu u pracowników zatrudnionych w hałasie niezbędna jest dokładna ocena poziomu ich ekspozycji na ten czynnik szkodliwy. W przypadku niestacjonarnych stanowisk pracy lub środowisk pracy podlegających ciągłym zmianom prawidłowa ocena ekspozycji pracownika na hałas może stanowić wyzwanie ze względu na losowość zmian występującego zagrożenia i trudny do oszacowania czas ekspozycji. Rozwiązaniem tego problemu może być ciągły monitoring hałasu, realizowany z wykorzystaniem bezprzewodowych sieci sensorowych. W artykule przedstawiono strukturę oraz zasadę działania systemu monitoringu i zdalnej kontroli hałasu i drgań mechanicznych maszyn i urządzeń, umożliwiającego m.in. ciągły monitoring narażenia pracowników na hałas. W skład systemu, który wciąż jest rozwijany, wchodzi indywidualny miernik hałasu – w artykule przedstawiono jego budowę i wyniki jego badań.

Słowa kluczowe: hałas, monitoring hałasu, bezprzewodowe sieci sensorowe, internet rzeczy

Design and testing of noise measurement systems for a sensor network for monitoring vibroacoustic hazards

Noise is a common physical hazard in the work environment. To limit the risk of permanent hearing loss among employees working in noisy conditions, it is essential to conduct a precise assessment of the level of workers' exposure to this harmful factor. In the case of non-stationary workstations or work environments that are subject to continuous changes, a proper assessment of an employee's exposure to noise can be challenging due to the random nature of changes in the occurring hazard and the difficulty in estimating the exposure time. The solution to this problem may be continuous noise monitoring using wireless sensor networks. This article presents the structure and operating principle of a system for monitoring and remotely controlling noise and mechanical vibrations in machines and devices, enabling, among other things, continuous monitoring of employee exposure to noise. One of the elements of the developed system is a personal noise meter, the construction and results of which are presented later in the article.

Keywords: noise, noise monitoring, wireless sensor networks, Internet of Things

^a Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

^b Kontakt: l.morzynski@ciop.pl.

Wstęp

Hałas jest szkodliwym czynnikiem fizycznym [1], najczęściej spotykanym na przemysłowych stanowiskach pracy. Skutki zdrowotne ekspozycji na hałas zależą nie tylko od jego poziomu ciśnienia akustycznego, lecz także od czasu ekspozycji. Z tego względu jedną z wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy, z określonymi wartościami NDN (największe dopuszczalne natężenie) [1, 2], jest poziom ekspozycji na hałas odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy lub do tygodnia pracy. W przypadku stacjonarnych stanowisk pracy, hałasu ustalonego i powtarzalnych procesów pracy wyznaczenie wartości poziomu ekspozycji na hałas nie sprawia większych trudności. Istnieją jednak zarówno stanowiska pracy o charakterze niestacjonarnym, na których pracownik może się przemieszczać pomiędzy źródłami hałasu, jak i procesy przemysłowe, w trakcie których hałas może podlegać znacznym zmianom w ciągu dnia lub tygodnia pracy. W takich przypadkach dokładne oszacowanie poziomu ekspozycji pracownika na hałas za pomocą standardowych technik pomiarowych staje się trudne, a ewentualne błędy tego oszacowania mogą doprowadzić do powstawania choroby zawodowej w postaci trwałych ubytków słuchu.

Jednym ze znanych rozwiązań problemu oceny ekspozycji pracownika na hałas w zmiennych warunkach środowiska pracy jest zastosowanie dostępnych na rynku dozymetrów hałasu, np. osobistego dozymetru hałasu SV 104A produkcji Svantek [3]. Relatywnie duży koszt tych wysokiej klasy urządzeń powoduje jednak, że nie są one powszechnie używane, a ich wykorzystanie często sprowadza się do wykonania jednego lub kilkunastu pomiarów zamiast długotrwałego monitoringu zagrożenia hałasem u poszczególnych pracowników.

Alternatywą może być ciągły monitoring hałasu z wykorzystaniem bezprzewodowych sieci sensorowych, złożonych z wielu tańszych układów sensorowych (pomiarowych). Takie rozwiązanie charakteryzuje się wprawdzie mniejszą dokładnością wyników pomiarów otrzymywanych za pomocą pojedynczego urządzenia pomiarowego, za to jego zaletą jest możliwość oceny zagrożenia hałasem wielu pracowników jednocześnie. Pozyskiwane za pomocą sieci sensorowej dane o hałasie i ekspozycji na hałas mogą być również analizowane w sposób ciągły w dedykowanym systemie informatycznym, co umożliwi podjęcie natychmiastowych działań prewencyjnych.

Bezprzewodową sieć sensorową [4, 5] stanowi grupa specjalizowanych sensorów

i urządzeń wykonawczych wraz z infrastrukturą do komunikacji bezprzewodowej, przeznaczonych do monitorowania i sterowania stanem układów fizycznych lub środowiska w różnych lokalizacjach, tworzących sieć, przez którą przekazywane są dane i polecenia sterujące. Obecnie urządzenia sieci sensorowej często komunikują się między sobą i z urządzeniami znajdującymi się na zewnątrz sieci poprzez internet – w ten sposób stają się częścią internetu rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT) [6, 7]. Co więcej, na rynku dostępna jest bardzo duża gama tanich układów elektronicznych w postaci komputerów jednoukładowych, płytek rozwojowych układów mikroprocesorowych i układów ewaluacyjnych, umożliwiających szybkie i nieskomplikowane tworzenie bezprzewodowych sieci sensorowych i rozwiązań z zakresu internetu rzeczy [8] – nawet przez osoby niebędące specjalistami w tej dziedzinie.

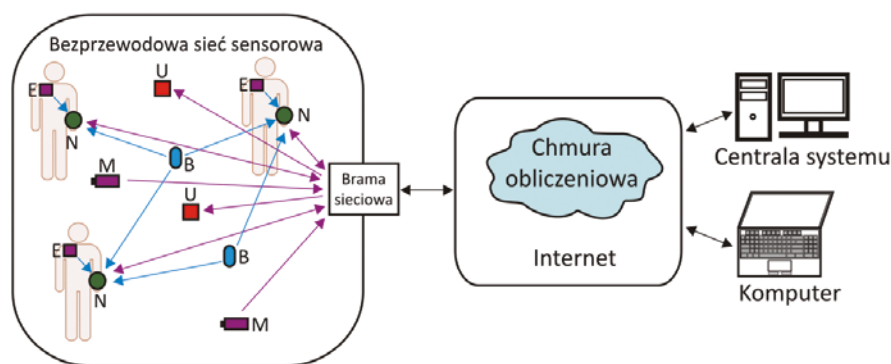
Bezprzewodowe sieci sensorowe i rozwiązania z zakresu internetu rzeczy są coraz powszechniejszymi narzędziami stosowanymi do monitorowania różnych parametrów otaczającego nas środowiska (w tym środowiska pracy), takich jak temperatura, wilgotność, promieniowanie UV czy hałas. Opisywane w literaturze naukowej systemy monitorowania hałasu najczęściej dotyczą hałasu w środowisku zewnętrznym, miejskim, i służą ochronie ludności przed hałasem. Niemniej wiele opisywanych rozwiązań technicznych można również wykorzystać do monitoringu hałasu w środowisku pracy. Przegląd rozwiązań stosowanych w bezprzewodowych systemach monitoringu hałasu miejskiego, zwłaszcza w systemach niskokosztowych, przedstawiono w pracy Picauti i in. [9]. Omawiane w doniesieniach literaturowych elektroniczne konstrukcje tworzące systemy monitoringu często są autorskimi rozwiązaniami, bazującymi właśnie na płytkach rozwojowych i układach ewaluacyjnych. Przykładowo w pracy Caccii i in. [6] przedstawiono konstrukcję układu pomiarowego opracowanego na potrzeby systemów internetu rzeczy monitorujących hałas w mieście. Układ ten bazuje na płycie rozwojowej Raspberry Pi model 3B+, do której podłączono mikrofon cyfrowy MEMS typu INMP 441. Do gromadzenia i przetwarzania danych wykorzystano chmurę obliczeniową Google Cloud z bazą Cloud Firestore. Błąd pomiarowy opracowanego urządzenia w stosunku do miernika klasy 1 był mniejszy niż 1 dB, a koszt urządzenia oszacowano na 350 dolarów amerykańskich. W pracy Fernandez-Prieto i in. [7] omówiono budowę układów pomiarowych (i działanie systemu IoT przeznaczonego do monitoringu hałasu w mieście), zbudowanych

z wykorzystaniem platformy rozwojowej Arduino Due i różniących się modułem do komunikacji radiowej. Wykorzystano trzy standardy komunikacji bezprzewodowej: Wi-Fi, GPRS i SigFox. Błąd pomiarowy w stosunku do miernika klasy 2 był mniejszy niż 1 dB, a koszt układu pomiarowego w zależności od jego rodzaju wahał się od 45 do 109 euro. W pracy Luo i in. [8] opisano system monitoringu hałasu środowiskowego, który służy nie tylko do pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A, lecz także do rozpoznawania zdarzeń dźwiękowych, tj. rodzaju i źródła dźwięku. Układy sensorowe systemu zbudowano na bazie płytki rozwojowej Allwinner A33 Stamp Hole. Transmisja danych z sensorów do centrali odbywała się za pośrednictwem sieci telefonii komórkowej w standardzie LTE. Błąd pomiarowy opracowanych układów sensorowych względem miernika odniesienia klasy 2 nie przekraczał 1 dB. Koszt układów sensorowych oszacowano na 86,5 dolara amerykańskiego.

Przedstawione przykłady z literatury przedmiotu wskazują, że możliwe jest opracowanie niskokosztowego, a jednocześnie wystarczająco dokładnego systemu monitoringu hałasu w środowisku pracy, który może służyć m.in. do oceny ekspozycji pracowników na hałas. Warto również zwrócić uwagę, że wprowadzane obecnie na rynek tanie układy mikroprocesorowe dysponują już mocą obliczeniową, która nie tylko umożliwi filtrację cyfrową sygnałów czy obliczanie ich widma z zastosowaniem szybkiej transformacji Fouriera, lecz także wystarczająco do zastosowania technik sztucznej inteligencji w przetwarzaniu oraz analizie odbieranych sygnałów akustycznych. W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) podjęto więc prace mające na celu opracowanie bezprzewodowego systemu monitoringu oraz zdalnej kontroli hałasu i drgań mechanicznych maszyn i urządzeń, bazującego na rozwiązaniach z zakresu IoT. Celem artykułu jest przedstawienie struktury opracowywanego systemu, w tym konstrukcji i wyników badań indywidualnego miernika hałasu, będącego elementem tego systemu.

Struktura systemu monitoringu oraz zdalnej kontroli hałasu i drgań mechanicznych maszyn i urządzeń

Schemat struktury bezprzewodowego systemu monitoringu oraz zdalnej kontroli hałasu i drgań mechanicznych maszyn i urządzeń przedstawiono na rys. 1. System monitoringu składa się z: układów



Rys. 1. Schemat struktury systemu monitoringu (oznaczenia: M – układy pomiarowe hałasu lub drgań mechanicznych, N – urządzenie nasobne w formie zegarka naręcznego, E – indywidualny miernik hałasu, B – znaczniki radiowe, U – układ wykonawczy, strzałki fioletowe – połączenia bezprzewodowe Wi-Fi, strzałki niebieskie – połączenia bezprzewodowe Bluetooth, strzałki czarne – połączenia ethernetowe)

Fig. 1. Diagram of the monitoring system structure (markings: M – noise or vibration measurement devices, N – wearable device in the form of a wristwatch, E – personal noise meter, B – radio tags, U – actuator, purple arrows – Wi-Fi wireless connections, blue arrows – Bluetooth wireless connections, black arrows – Ethernet connections)

pomiarowych hałasu, układów pomiarowych drgań mechanicznych, indywidualnych mierników hałasu, urządzeń nasobnych w postaci zegarka, znaczników radiowych i układów wykonawczych. Wszystkie te urządzenia tworzą sieć sensorową, obejmującą swym zasięgiem cały lub wybrany obszar zakładu pracy.

Zgodnie z przyjętą koncepcją systemu układy pomiarowe hałasu i drgań mechanicznych służą do pomiaru tych czynników pod kątem oceny zagrożeń występujących w zakładzie pracy. W szczególności są one instalowane na maszynach i urządzeniach, których hałas i drgania mają być monitorowane. Do oceny ekspozycji pracowników na hałas wykorzystywane są indywidualne mierniki hałasu, mocowane do ubrania na wysokości barku. Każdy pracownik jest również wyposażony w urządzenie nasobne – zegarek naręczny. Znaczniki radiowe są ulokowane w miejscach, gdzie występuje duże zagrożenie hałasem lub drganiami mechanicznymi. Układy wykonawcze są włączone w układy sterowania maszyn i urządzeń. Urządzenia systemu komunikują się ze sobą oraz ze światem zewnętrznym z wykorzystaniem dwóch standardów komunikacji: Bluetooth LE i Wi-Fi. Standard Bluetooth LE służy do komunikacji pomiędzy indywidualnymi miernikami hałasu a urządzeniami nasobnymi oraz pomiędzy znacznikami radiowymi a urządzeniami nasobnymi. Standard Wi-Fi wykorzystywany jest natomiast do komunikacji pomiędzy układami pomiarowymi, urządzeniami nasobnymi i układami wykonawczymi a centralą systemu (za pośrednictwem bramy sieciowej i internetu). Przyjęty schemat działania systemu zakłada, że mierniki hałasu i drgań mechanicznych przesyłają aktualne wyniki pomiarów do centrali systemu, w której są one gromadzone. Indywidualny miernik hałasu przesyła dane o narażeniu

pracownika na hałas do noszonego przez tego pracownika urządzenia nasobnego, które ponadto odbiera komunikaty od znaczników radiowych, w pobliżu których przebywa pracownik. Dane o aktualnym narażeniu na hałas oraz dane lokalizacyjne uzyskane ze znaczników radiowych są przesyłane przez urządzenia nasobne do centrali systemu, która analizuje te informacje i w razie potrzeby wysyła polecenia sterujące do urządzeń wykonawczych.

W tym przypadku pod pojęciem centrali systemu należy rozumieć wydzielone zasoby informatyczne wykorzystywane do gromadzenia i przetwarzania danych pochodzących z systemu monitoringu oraz do nadzoru nad działaniem sieci sensorowej. Taką centralą może być komputer z odpowiednim oprogramowaniem bazodanowym oraz oprogramowaniem do przetwarzania danych. Obecnie jednak standardem staje się przetwarzanie danych w chmurze obliczeniowej, a zarządzanie procesem ich przetwarzania odbywa się poprzez internet z poziomu lokalnego. Przetwarzanie w chmurze zapewnia użytkownikom innym niż administrator systemu (np. pracodawcy, pracownikowi służby bhp) łatwy dostęp do wybranych danych i wyników ich analizy z wykorzystaniem komputerów podłączonych do internetu.

W dalszej części artykułu skoncentrowano się na opisie konstrukcji i wyników badań indywidualnego miernika hałasu, który jest jednym z elementów opracowywanego systemu.

Konstrukcja indywidualnego miernika hałasu

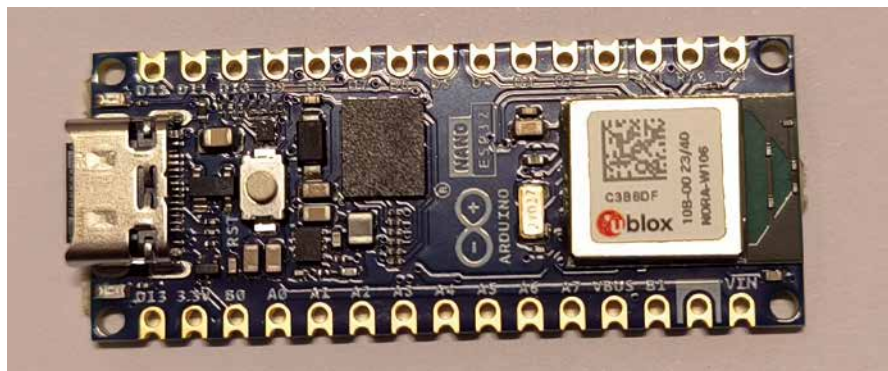
Zgodnie z założeniami indywidualny miernik hałasu jest bezprzewodowym urządzeniem nasobnym, które pozwala na ocenę indywidualnej ekspozycji

na hałas użytkującego go pracownika, więc powinno umożliwiać wyznaczenie wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy. Z rozporządzenia w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [2] wynika, że hałas występujący w środowisku pracy opisują trzy następujące wielkości, dla których ustalono wartości NDN:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do ośmiogodzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{EX,8h}$ (NDN = 85 dB) lub odpowiadająca mu dzienna ekspozycja na hałas $E_{A,Td}$ (NDN = $3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$),
- maksymalny poziom dźwięku A – $L_{A,max}$ (NDN = 115 dB),
- szczytowy poziom dźwięku C – $L_{C,peak}$ (NDN = 135 dB).

Do wyznaczenia tych parametrów charakteryzujących hałas w środowisku pracy konieczne jest wyznaczenie dwóch bazowych wielkości sygnału akustycznego: poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C. Wymaga to wykonania szeregu operacji na mierzonym sygnale akustycznym. W przypadku poziomu dźwięku A obejmują one: filtrację sygnału z zastosowaniem filtra o charakterystyce częstotliwościowej A, wyznaczenie wartości skutecznej ciśnienia akustycznego (sygnału) oraz wyznaczenie poziomu dźwięku A. Wynik ten służy następnie do znalezienia maksymalnego poziomu dźwięku A i obliczenia poziomu ekspozycji na hałas (z uwzględnieniem czasu tej ekspozycji). Z kolei w celu określenia szczytowego poziomu dźwięku C należy najpierw przefiltrować sygnał filtrem o charakterystyce częstotliwościowej C i znaleźć szczytową wartość ciśnienia akustycznego. Dodatkowo, gdy zastosowany mikrofon nie ma płaskiej charakterystyki częstotliwościowej w zakresie częstotliwości przetwarzania sygnału, na samym początku trzeba przefiltrować sygnał mikrofonowy za pomocą odpowiedniego filtra korekcyjnego.

Większość z wymienionych działań na sygnale pomiarowym można wykonać metodami analogowymi lub cyfrowymi, przy czym nawet taki układ, w którym większość działań odbywa się w sposób analogowy, musi być wyposażony w mikroprocesor umożliwiający wyznaczenie wartości ekspozycji na hałas, ostateczną obróbkę i przesłanie dalej wyników pomiarów. Przetwarzanie analogowe charakteryzuje się mniejszym poborem energii elektrycznej i wymaga prostszego oprogramowania procesora układu pomiarowego, jednak odbywa się to kosztem znacznie bardziej złożonej (i trudniejszej do zaprojektowania) konstrukcji elektronicznej



Rys. 2. Płytki rozwojowa Arduino Nano ESP32 (fot. Leszek Morzyński)
 Fig. 2. Arduino Nano ESP32 development board (photo: Leszek Morzyński)

(wiąże się to także z większymi rozmiarami układu pomiarowego). Układy w pełni cyfrowe mają natomiast bardzo prostą konstrukcję elektroniczną, ponieważ ich zasadniczym elementem oprócz układu zasilania jest układ mikroprocesorowy – najczęściej typu *system-on-chip* (SoC) – i dołączony do niego mikrofon typu MEMS (ang. *microelectromechanical system*), jednak w tym przypadku przetwarzanie wymaga znacznie bardziej skomplikowanego oprogramowania (zwłaszcza odpowiadającego za cyfrową filtrację sygnału). Inaczej niż w przypadku układu analogowego w układzie cyfrowym konieczne jest wykonywanie złożonych operacji arytmetycznych na próbkach sygnału akustycznego, co wiąże się z dużym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową układu mikroprocesorowego i tym samym z większym zużyciem energii elektrycznej. Warto jednak podkreślić, że dzięki postępowi w technologiach wytwarzania układów cyfrowych stają się one coraz bardziej wydajne i energooszczędne. Biorąc pod uwagę potrzebę minimalizacji rozmiarów i kosztów konstrukcji indywidualnego miernika hałasu, zdecydowano się na zastosowanie w nim w pełni cyfrowego przetwarzania sygnału pomiarowego.

Kolejnym krokiem po wyborze sposobu przetwarzania sygnału mikrofonowego był odpowiedni dobór układu mikroprocesorowego i płytki rozwojowej tego układu do budowy indywidualnego miernika hałasu, uwzględniający funkcje, które mają być realizowane przez miernik. Należało wziąć pod uwagę: dostępną moc obliczeniową, wielkość pamięci EPROM/RAM, zapewnienie łączności bezprzewodowej w standardzie Bluetooth LE (niezbędnej do transmisji danych), łatwość programowania, rozmiar i koszty układu.

Analiza rynku podzespołów elektronicznych wskazuje, że zasadniczo dominują tu rozwiązania powiązane z trzema platformami sprzętowymi, wykorzystywanymi do budowy bezprzewodowych sieci sensorowych. Pierwszą grupę stanowią urządzenia spod znaku Raspberry Pi, w tym zwłaszcza płytki rozwojowe

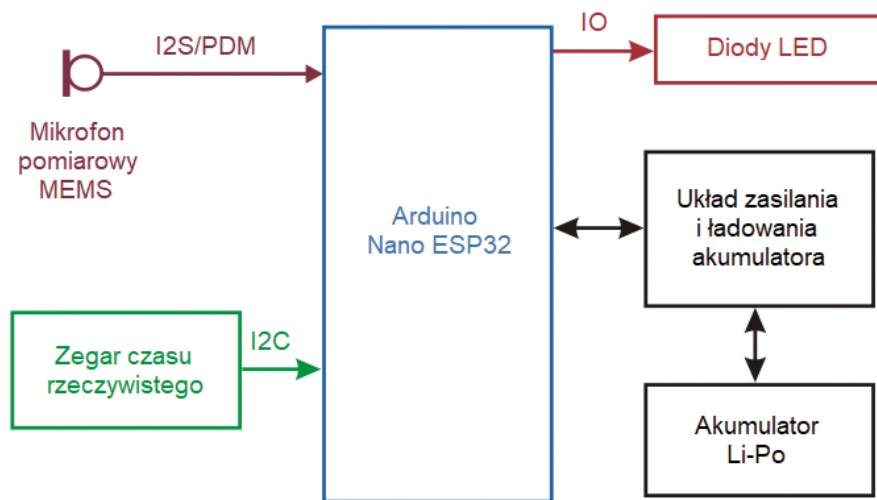
Raspberry Pi Pico W i Raspberry Pi Zero 2 W, drugą – płytki rozwojowe oparte na układzie SoC nRF52840, np. Seeed Xiao BLE nRF52840 Sense, a trzecią (prawdopodobnie najliczniejszą) – rozwiązania oparte na układach SoC z serii ESP32. Na rynku dostępne są dziesiątki płytek rozwojowych różnych marek (np. ESP-WROOM-32, Seed Xiao, Waveshare, Feather, Adafruit, Spark Fun, Arduino), jednak ostatecznie wybrano płytkę Arduino Nano ESP32 (rys. 2). Jej zaletami są:

- wydajny układ mikroprocesorowy SoC ESP32-S3, posiadający dwa rdzenie Xtensa 32-bit LX7, 512 KB pamięci RAM, 384 KB pamięci ROM, częstotliwość taktowania 240 MHz oraz wbudowane układy peryferyjne do łączności w standardach Wi-Fi oraz Bluetooth 5 (LE);
- zewnętrzna pamięć Flash 16 MB;
- bardzo dobre wsparcie programistyczne w postaci zarówno bibliotek dostarczanych przez producentów, jak i całej gamy projektów oprogramowania dostępnych w internecie;
- możliwość komunikacji z modułem oraz zasilania przez złącze USB-C;
- małe wymiary.

Konstrukcja indywidualnego miernika hałasu oprócz płytki rozwojowej Arduino Nano ESP32 zawiera dodatkowe elementy niezbędne do prawidłowego funkcjonowania miernika: mikrofon cyfrowy typu MEMS, układ zasilania i ładowania akumulatora wraz z akumulatorem litowo-polimerowym (Li-Po), diody LED oraz zegar czasu rzeczywistego. Diody LED służą do sygnalizacji stanu urządzenia (włączony/wyłączony, ładowanie/naładowany) oraz do informowania użytkownika o możliwości występowania nadmiernej hałasu i o przekroczeniu wartości dopuszczalnych. Zewnętrzny zegar czasu rzeczywistego (moduł Adafruit PFC8523 Real Time Clock) z baterią podtrzymującą zasilanie dodano w celu zapewnienia precyzyjnego oznaczenia czasu wykonywanych pomiarów oraz wyliczania poziomu ekspozycji na hałas. Podstawowy schemat blokowy indywidualnego miernika hałasu przedstawiono na rys. 3.

Zgodnie z przyjętymi założeniami i schematem blokowym opracowano schemat ideowy indywidualnego miernika hałasu, a następnie zaprojektowano i wykonano jego płytkę drukowaną (rys. 4). Układ zaprojektowano w taki sposób, by możliwe było zastosowanie w nim różnych mikrofonów cyfrowych MEMS, wykorzystujących jeden z dwóch powszechnie stosowanych interfejsów transmisji sygnału dźwiękowego, tj. I2S lub PDM.

Mikrofon MEMS jest zamocowany za pomocą złączy kołkowych na niewielkiej płytce drukowanej, dołączanej do płytki głównej, dzięki czemu znajduje się w płaszczyźnie leżącej ponad pozostałymi elementami elektronicznymi, co ułatwiło wykonanie obudowy miernika. Ponadto mikrofon jest łatwo wymienny, dlatego można było przeprowadzić testy z różnymi mikrofonami MEMS (m.in.



Rys. 3. Schemat blokowy indywidualnego miernika hałasu
 Fig. 3. Block diagram of the personal noise meter

z mikrofonem SPH0645LM4H1, wyposażonym w interfejs I2S), aby wybrać ten optymalny. Bazując na wynikach testów, w ostatecznej wersji miernika zastosowano mikrofon typu T5848, co było podyktowane dobrymi parametrami tego mikrofonu (zwłaszcza wysokim maksymalnym poziomem ciśnienia akustycznego, wynoszącym 133 dB) i łatwością, z jaką można zapewnić komunikację płytki Arduino Nano ESP32 z mikrofonem za pomocą interfejsu I2S.

Zaprojektowano obudowę indywidualnego miernika hałasu i wykonano ją techniką druku 3D. W tylnej części obudowy znajduje się klips, za pomocą którego miernik jest mocowany do ubrania pracownika. Mikrofon pomiarowy w osłonie wystaje ponad płytę czołową miernika.

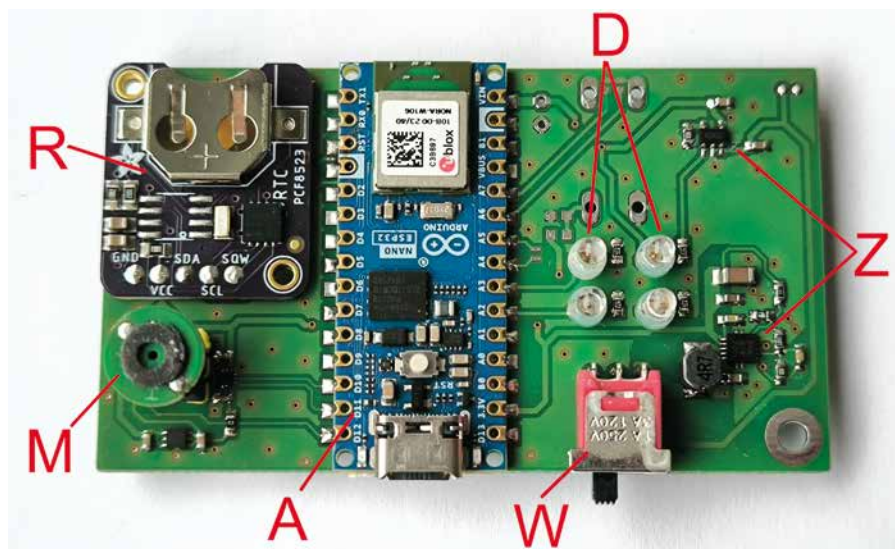
Należy podkreślić, że opracowywanie indywidualnego miernika hałasu było procesem iteracyjnym, w trakcie którego wykonywano kolejne wersje urządzenia, a następnie je testowano i optymalizowano poszczególne rozwiązania konstrukcyjne pod względem dokładności pomiaru oraz cech funkcjonalnych i użytkowych. Na rys. 5 przedstawiono model miernika w jego pierwszej wersji oraz w wersji końcowej.

Ponadto, wykorzystując środowisko programistyczne Arduino IDE, opracowano odpowiednie oprogramowanie miernika, odpowiedzialne za przetwarzanie sygnału pomiarowego, wyznaczanie wartości ekspozycji na hałas oraz komunikację bezprzewodową z urządzeniem nasobnym w standardzie Bluetooth LE.

Badania indywidualnego miernika hałasu

Opracowane modele indywidualnego miernika hałasu poddawano badaniom w warunkach laboratoryjnych w celu zweryfikowania poprawności ich działania oraz oceny właściwości pomiarowych. Badania przeprowadzono w specjalnej komorze do badań akustycznych – schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 6.

W ramach badań porównywano wskazania pomiarowe indywidualnego miernika hałasu i miernika poziomu dźwięku klasy 1 Svan 945 w przypadku dwóch rodzajów generowanych sygnałów testowych. Pierwszym z nich były szumy pasmowe o odpowiednio dobranej charakterystyce częstotliwościowej, stosowane w badaniach ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, określane jako hałas wysokoczęstotliwościowy (H), średniczęstotliwościowy (M) i niskoczęstotliwościowy (L). Drugim rodzajem sygnałów testowych były tony o różnej

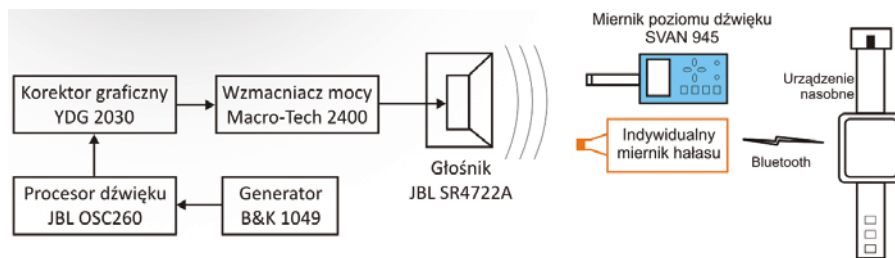


Rys. 4. Płytką drukowaną indywidualnego miernika hałasu: A – Arduino Nano ESP32, M – mikrofon, R – zegar czasu rzeczywistego, Z – układy zasilania i ładowania akumulatora, D – diody LED, W – wyłącznik urządzenia (fot. Leszek Morzyński)
Fig. 4. Printed circuit board of a personal noise meter: A – Arduino Nano ESP32, M – microphone, R – real-time clock, Z – power supply and battery charging circuits, D – LED diodes, W – device switch (fot. Leszek Morzyński)



Rys. 5. Indywidualny miernik hałasu: w wersji pierwszej – po lewej, w wersji końcowej – po prawej; widok z góry i z boku (fot. Leszek Morzyński)

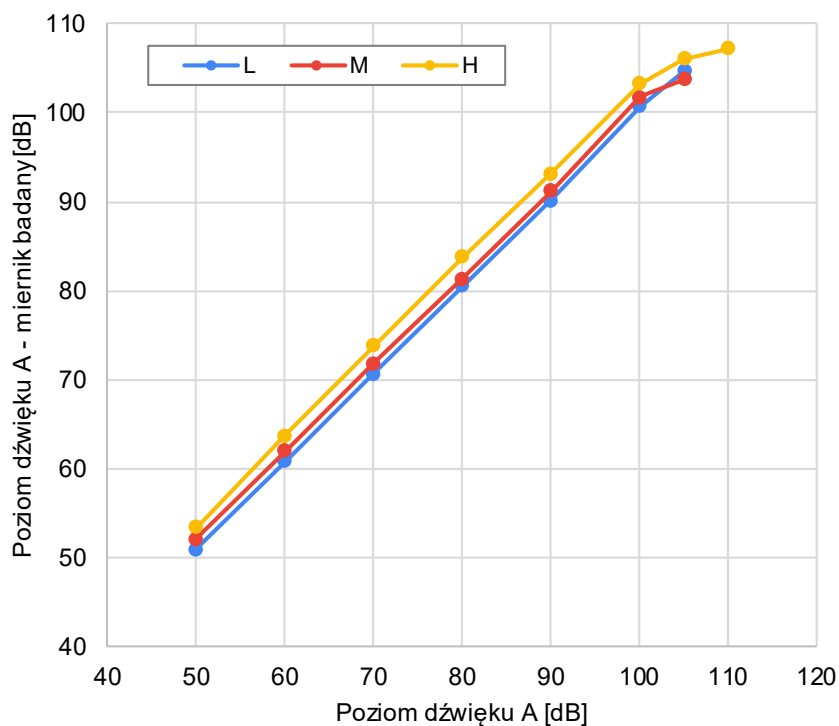
Fig. 5. Personal noise meter: the first version – left, and in the final version – right; top and side view (photo Leszek Morzyński)



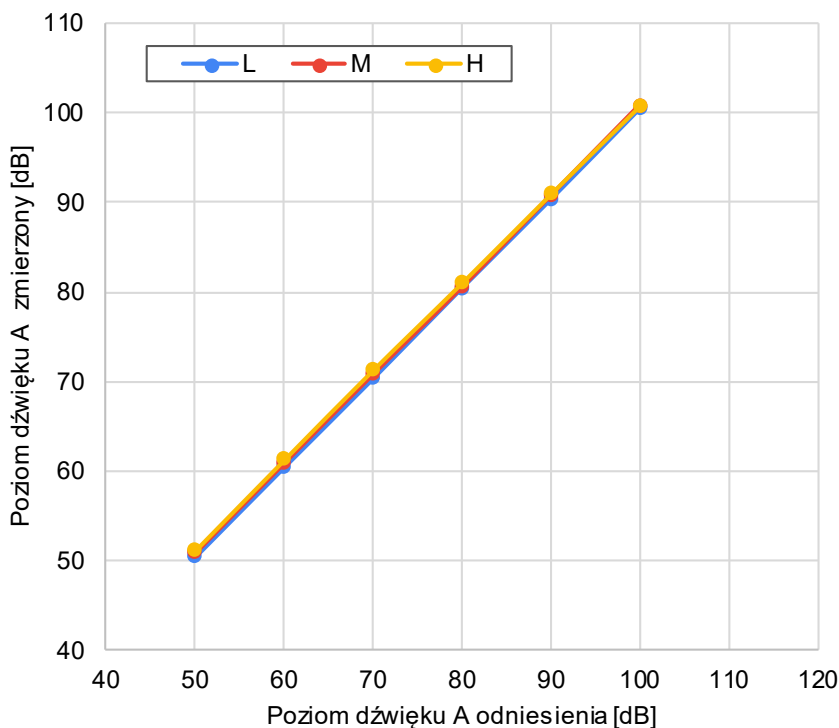
Rys. 6. Schemat układu pomiarowego do badań indywidualnego miernika hałasu
Fig. 6. Diagram of the measurement system for testing a personal noise meter

częstotliwości i poziomie dźwięku A. Tak dobrane sygnały testowe umożliwiły sprawdzenie działania indywidualnego miernika hałasu w różnych zakresach pasma częstotliwości. Do generowania sygnałów testowych wykorzystywano

zestaw aparatury złożony z: generatora sygnałowego B&K 1049, procesora dźwięku JBL DSC260, korektora graficznego Yamaha YDG 2030, wzmacniacza mocy Crown Macro-Tech 2400 oraz głośnika JBL SR4722A. Mikrofony urządzeń



Rys. 7. Wyniki badań pierwszego modelu indywidualnego miernika hałasu dla hałasu L, M, H
Fig. 7. Test results of the first model of a personal noise meter for L, M, H noise



Rys. 8. Wyniki badań modelu indywidualnego miernika hałasu w wersji końcowej dla hałasu H, M i L
Fig. 8. Test results of the final model of a personal noise meter for L, M, H noise

pomiarowych w trakcie badań były umieszczone obok siebie i w osi głośnika stanowiącego źródło sygnału testowego. Do celów prowadzonych badań ustanowiono połączenie Bluetooth pomiędzy indywidualnym miernikiem hałasu a urządzeniem nasobnym w formie

zegarka, na którym odczytywano wyniki pomiarów przesyłane z indywidualnego miernika hałasu.

Zrealizowane badania polegały na pomiarze – za pomocą indywidualnego miernika hałasu – poziomów dźwięku A generowanych sygnałów testowych dla

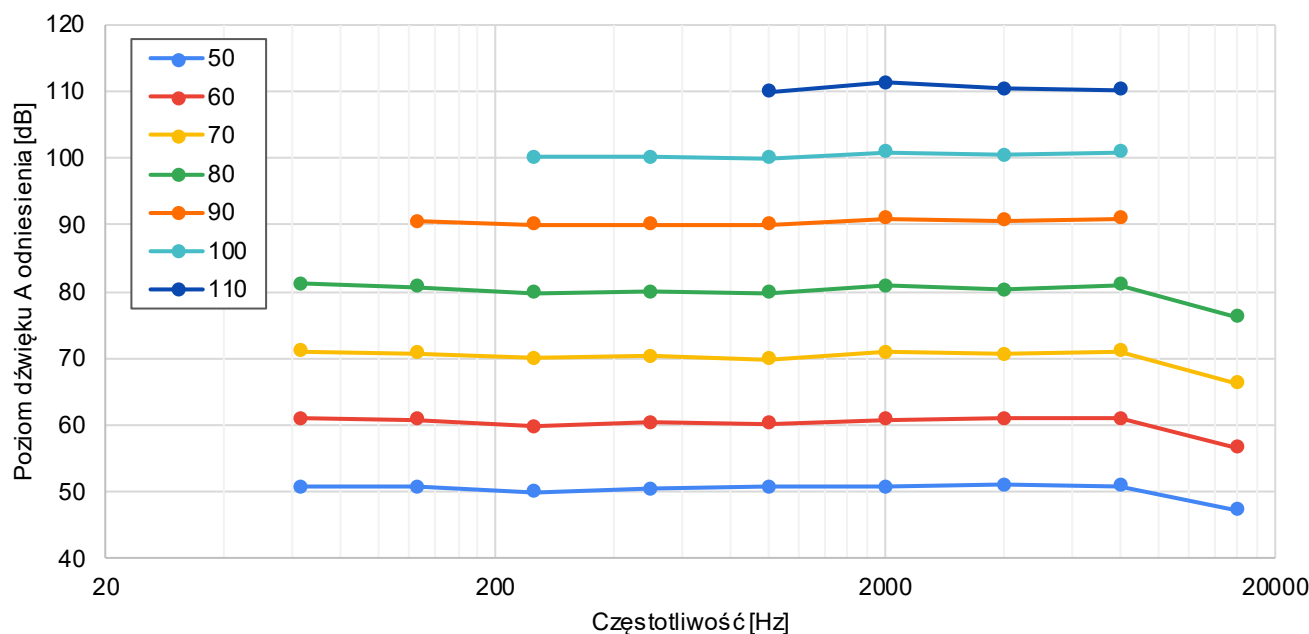
poziomów dźwięku A tych sygnałów ustalonych z wykorzystaniem miernika odniesienia.

Pierwszą serię badań przeprowadzono na pierwszej wersji modelu indywidualnego miernika hałasu, wyposażonego w mikrofon SPH0645LM4H1. Według danych katalogowych górny zakres pomiarowy poziomu ciśnienia akustycznego tego mikrofonu wynosi 120 dB. Wyniki badań (rys. 7) potwierdziły, że funkcjonowanie miernika jest prawidłowe, tzn. że realizował on zaprogramowane funkcje w sposób zgodny z założeniami projektowymi. W przypadku szumu różowego miernik wykazał wysoką dokładność wskazań. W przypadku sygnałów testowych w postaci hałasu niskoczęstotliwościowego (L) błąd pomiaru indywidualnego miernika hałasu w stosunku do wskazań miernika odniesienia mieścił się w zakresie do 1 dB. W przypadku hałasu średniczęstotliwościowego (M) błąd pomiaru badanego miernika był większy (urządzenie zawyżało wynik pomiaru) i mieścił się w zakresie od 1 dB do 2 dB, a w przypadku hałasu wysokoczęstotliwościowego błąd wynosił od 3 dB do 4 dB.

Wyniki badań świadczą o tym, że w charakterystyce częstotliwościowej badanego indywidualnego miernika hałasu występuje wzmocnienie przetwarzanych sygnałów w zakresie wysokich częstotliwości akustycznych. Wzmocnienie to występowało, mimo że w procesie przetwarzania sygnału pomiarowego uwzględniono filtr korygujący charakterystykę częstotliwościową wykorzystanego mikrofonu, zrealizowany na podstawie danych producenta mikrofonu. Przyczyną tego może być wpływ obudowy urządzenia na charakterystykę częstotliwościową zamontowanego w niej mikrofonu.

W przypadku poziomów dźwięku A sygnałów testowych wynoszących 105 dB i więcej wskazania badanego miernika były z kolei niższe niż wartości odniesienia, co miało związek ze zbliżaniem się do górnej granicy pomiarowej zastosowanego w mierniku mikrofonu.

Bazując na wynikach badań pierwszej wersji modelu indywidualnego miernika hałasu, dokonano niezbędnych zmian zarówno w jego konstrukcji, jak i w oprogramowaniu. Przede wszystkim zastosowano mikrofon pomiarowy MEMS typu T5848, który charakteryzuje się wyższym maksymalnym poziomem ciśnienia akustycznego, natomiast w algorytmie przetwarzania sygnału dodano dodatkowy filtr dolno-przepustowy, korygujący charakterystykę częstotliwościową mikrofonu w obudowie. Tak skonstruowany model miernika w wersji końcowej poddano ponownym badaniom weryfikacyjnym.



Rys. 9. Wyniki badań modelu indywidualnego miernika hałasu w wersji końcowej dla tonów o różnej częstotliwości
Fig. 9. Test results of the final model of a personal noise meter for tones of different frequencies

Wyniki pomiarów poziomu dźwięku A, wykonywanych za pomocą indywidualnych mierników hałasu dla sygnałów testowych w postaci hałasu H, M i L, przedstawiono na rys. 8. Po dokonanych modyfikacjach błąd pomiaru w odniesieniu do wskazań miernika klasy 1 mieścił się w granicach do 1 dB w przypadku wszystkich trzech typów sygnałów testowych.

Wyniki badań końcowej wersji modelu indywidualnego miernika hałasu dla sygnałów testowych w postaci tonów przedstawiono na rys. 9. Na wykresie różnymi kolorami zaznaczono wyniki pomiarów dla ustalonych wartości poziomu dźwięku A sygnałów testowych.

W zakresie częstotliwości do 8 kHz można zaobserwować dobrą liniowość charakterystyk pomiarowych oraz błąd pomiaru w stosunku do miernika odniesienia nieprzekraczający 1 dB. Dla częstotliwości powyżej 16 kHz miernik zaniża wynik pomiaru poziomu dźwięku A o ok. 4 dB. Jednak zgodnie z wymaganiami norm odnoszących się do mierników poziomu dźwięku jest to błąd dopuszczalny w przypadku mierników klasy 2.

Podsumowanie

Systemy monitoringu oraz kontroli hałasu i drgań mechanicznych mogą być znakomitym narzędziem do oceny ekspozycji pracowników na te czynniki fizyczne środowiska pracy w sytuacji, gdy warunki narażenia są zmienne. Dzięki zastosowaniu ciągłego monitoringu parametrów wibroakustycznych możliwa jest lepsza

analiza zagrożeń występujących w zakładzie pracy i bieżące podejmowanie działań zapobiegawczych.

Przedstawione w artykule wyniki prac projektowych i badawczych pokazują, że taki system monitoringu, zapewniający odpowiednio wysoką dokładność pomiaru, można obecnie zbudować na bazie tanich oraz powszechnie dostępnych komponentów elektronicznych.

Aby zapewnić wysoką dokładność pomiarów, konieczne jest jednak zbadanie wpływu zamocowania mikrofonu pomiarowego w obudowie urządzenia na charakterystykę częstotliwościową toru pomiarowego oraz uwzględnienie tego wpływu w procesie przetwarzania sygnału pomiarowego.

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr II.PN.03 pt. „Bezprzewodowy, skalowalny system monitoringu i zdalnej kontroli hałasu i drgań mechanicznych maszyn i urządzeń, bazujący na rozwiązaniach z zakresu Internetu rzeczy”. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Koradecka D. (red.), *Bezpieczeństwo i higiena pracy*, Warszawa: CIOP-PIB, 2008.
- [2] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 1268 z późn. zm.).

[3] *Dozometr hałasu SV 104A*, Svantek, 2026; <https://svantek.com/pl/produkty/sv-104a-dozometr-halasu>.

[4] Yang S.H., *Wireless Sensor Networks – Principles, Design and Applications*, London: Springer, 2014.

[5] Dargie W., Poellabauer Ch., *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, 2010; doi: 10.1002/9780470666388.

[6] Sikorski M., Roman A., *Internet Rzeczy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2020.

[7] Dian F.J., *Fundamentals of Internet of Things*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2023.

[8] Kanagachidambaresan G.R., *Internet of Things using single board computers. Principles of IoT and Python programming*, Chennai (India): Apress, 2022.

[9] Caccia M., Sacerdoti E., Lombera E.N., *Acquisition module for a wireless acoustic sensor network suitable for Argentinian urban environments*, „Journal of Ecological Engineering”, 2022, 23(12): 89–98; doi: 10.12911/22998993/152436.

[10] Fernandez-Prieto J.A., Cañada-Bago J., Gadeo-Martos M.A., *Wireless acoustic sensor nodes for noise monitoring in the city of Linares (Jaén)*, „Sensors”, 2020, 20: 124; doi: 10.3390/s20010124.

[11] Luo L. i in., *Wireless sensor networks for noise measurement and acoustic event recognitions in urban environments*, „Sensors”, 2020, 20: 2093; doi: 10.3390/s20072093.

[12] Picaut J. i in., *Low-cost sensors for urban noise monitoring networks – a literature review*, „Sensors”, 2020, 20(8): 2256; doi: 10.3390/s20082256.



Czynniki szkodliwe dla zdrowia pracowników w kontekście zasobów bibliograficznych

Jednym z niezbędnych elementów upowszechniania wiedzy jest publikowanie wyników prac naukowo-badawczych. Ten artykuł jest próbą odpowiedzi na pytanie, czy częstość występowania poszczególnych czynników ryzyka wynikających ze środowiska pracy, zgodnie z przytoczonymi danymi statystycznymi, jest proporcjonalna do liczby publikacji naukowych podejmujących tę tematykę.

Wiedza na temat zagrożeń w środowisku pracy jest potrzebna do tego, by móc podjąć działania mające na celu ochronę pracowników przed wpływem czynników szkodliwych. Zgodnie z zapisami normy dotyczącej zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy [1] zagrożenia można podzielić na fizyczne, chemiczne, biologiczne, psychospołeczne, mechaniczne, elektryczne lub związane z ruchem i energią – z zastrzeżeniem, że ten wykaz nie jest wyczerpujący. Do czynników fizycznych zalicza się: hałas (w tym ultradźwiękowy), drgania mechaniczne (wibracje), mikroklimat, promieniowanie optyczne, pole i promieniowanie elektromagnetyczne. Można do nich zaliczyć również zagrożenia mechaniczne, elektryczne i pyłowe [2]. Czynniki chemiczne obejmują substancje toksyczne, drażniące, rakotwórcze i mutagenne, upośledzające funkcje rozrodcze. Wśród czynników biologicznych należy wymienić makro- i mikroorganizmy roślinne i zwierzęce (bakterie, wirusy, grzyby, pierwotniaki), a wśród czynników psychofizycznych – obciążenie fizyczne (statyczne, dynamiczne, monotypię) i psychofizyczne oraz stres

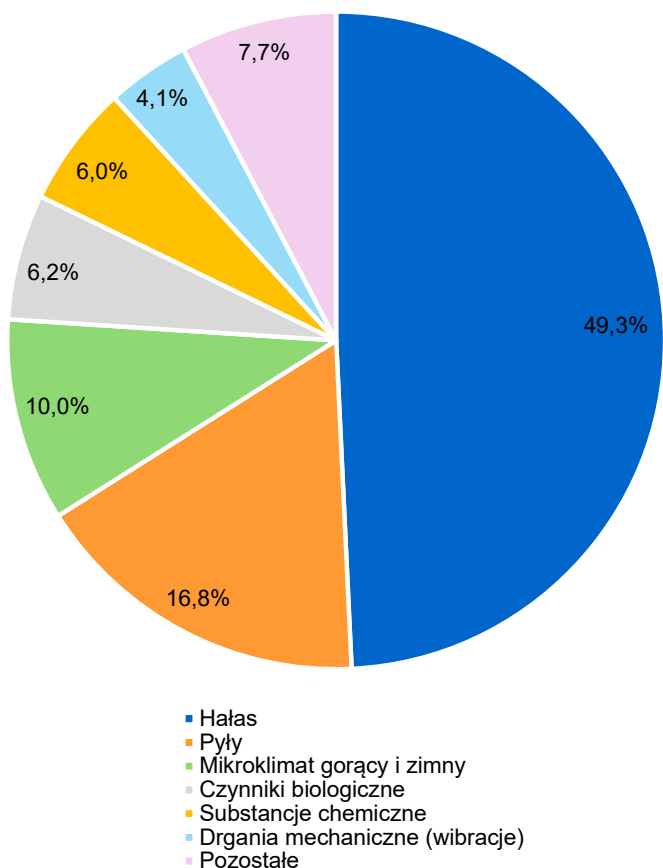
[2]. Niezależnie od przyjętej klasyfikacji istotne jest zwrócenie uwagi na te czynniki, które stanowią największy problem w środowisku pracy. Skalę zagrożeń przez nie stwarzanych obrazują dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) (rys. 1).

Choć dane liczbowe ulegają pewnym zmianom rok do roku, to proporcje w udziale poszczególnych czynników wymienionych na rys. 1 są niezmiennie. Zobrazowano to w tab. 1 w zestawieniu obejmującym dostępne dane z czterech ostatnich lat. Czynniki wyodrębnione w zaprezentowanych danych GUS można potraktować jako hasła kluczowe do przeszukiwania polskojęzycznej literatury naukowej.

W artykule zestawiono dane statystyczne na temat najczęściej występujących w Polsce czynników ryzyka wynikających ze środowiska pracy z danymi o liczności polskojęzycznych publikacji odpowiadających hasłowo tym czynnikom. Przeanalizowanie uzyskanych wyników pozwoliło wnioskować o potencjalnych potrzebach reagowania na te zagrożenia poprzez podejmowanie tej tematyki w pracach badawczych i naukowych.

Metody badawcze

W celu pozyskania informacji o liczbie polskojęzycznych publikacji o tematyce obejmującej najczęściej występujące czynniki ryzyka wynikające ze środowiska pracy (według danych GUS) przeszukano zasoby bazy danych o zawartości polskich



Rys. 1. Odsetek pracowników narażonych na czynniki ryzyka wynikające ze środowiska pracy (liczonych tyle razy, na ile czynników są narażeni) według czynników szkodliwych i niebezpiecznych oraz uciążliwych dla zdrowia w Polsce w 2024 r. [3]. W 2024 r. dane obejmujące pyły podano z wyodrębnieniem dwóch grup: pyły rakotwórcze i pyły zwłókniające (udział w całości odpowiednio: 8,9% oraz 7,9%)

czasopism technicznych BazTech [7]. Jest ona bazą danych bibliograficzno-abstraktową, rejestrującą od 1998 r. artykuły z polskich czasopism z zakresu nauk technicznych, nauk ścisłych i ochrony środowiska [7]. Przeprowadzone wyszukiwanie dotyczyło lat 2015–2024 i obejmowało następujące hasła kluczowe: „Hałas”, „Pyły”, „Mikroklimat gorący i zimny”, „Czynniki biologiczne”, „Substancje chemiczne” oraz „Wibracje”. Pozyskane dane o liczności publikacji według liczby rezultatów odpowiadających poszczególnym słowom kluczowym porównano z wybranymi danymi o najczęściej występujących czynnikach szkodliwych, niebezpiecznych i uciążliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

Tabela 1. Odsetek pracowników narażonych na czynniki ryzyka wynikające ze środowiska pracy według czynników szkodliwych i niebezpiecznych oraz uciążliwych dla zdrowia w Polsce w latach 2021–2024 [3–6]

Czynniki szkodliwe, niebezpieczne i uciążliwe dla zdrowia	Rok			
	2021	2022	2023	2024
Hałas	53,8	54,0	51,3	49,3
Pyły	18,5	18,3	19,5	16,8 (8,9+7,9)*
Mikroklimat gorący i zimny	8,7	9,0	10,0	10,0
Czynniki biologiczne	7,2	5,8	5,2	6,2
Substancje chemiczne	4,2	5,0	6,1	6,0
Drgania mechaniczne (wibracje)	3,9	4,0	4,1	4,1
Pozostałe	3,7	3,9	3,9	7,7

* W 2024 r. dane obejmujące pyły podano w podziale na odpowiednio: rakotwórcze + zwłókniające. W pozostałych latach pozycja „Pyły” oznacza łącznie uwzględnione pyły zwłókniające, rakotwórcze i inne.

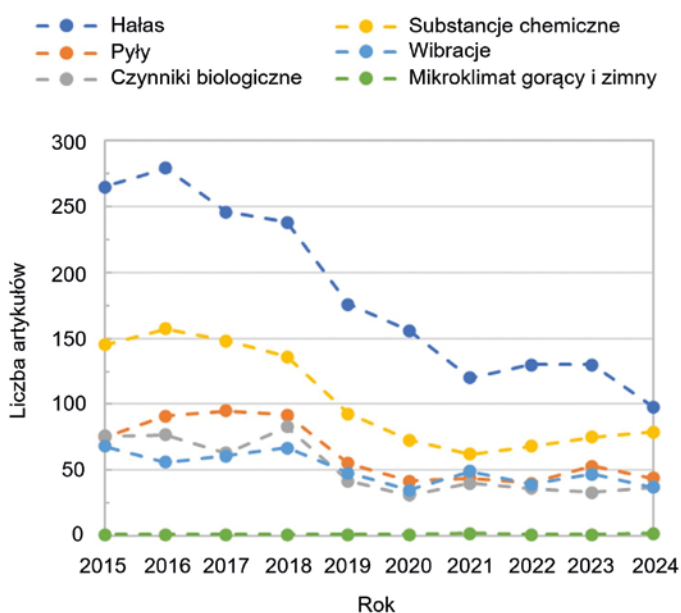
Tabela 2. Liczba polskojęzycznych artykułów zindeksowanych w bazie BazTech, opublikowanych w latach 2015–2024, spełniających kryteria wyszukiwania według poszczególnych haseł kluczowych

Hasło kluczowe	Liczba artykułów	Liczba artykułów (wyszukiwanie: słowa kluczowe)
Hałas	1838	522
Pyły	631	62
Mikroklimat gorący i zimny	12	0
Mikroklimat gorący	28*	2*
Mikroklimat zimny	18*	2*
Czynniki biologiczne	518	27
Substancje chemiczne	1036	34
Wibracje	507	135

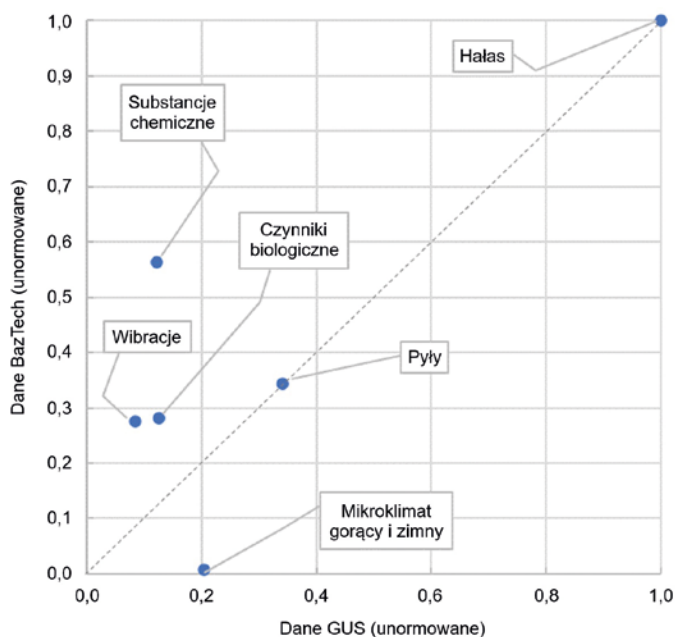
* Doprecyzowanie hasła poprzez wyszukiwanie w jednej spośród dwóch grup powoduje zwiększenie liczby wyszukiwanych artykułów względem hasła uwzględniającego łącznie oba rodzaje mikroklimatu.

Rezultaty

W tab. 2 zawarto liczbę polskojęzycznych artykułów opublikowanych w latach 2015–2024 na temat każdego z uwzględnionych haseł kluczowych. Na rys. 2 przedstawiono natomiast liczbę zindeksowanych artykułów, odpowiadających tym samym hasłom, w podziale na poszczególne lata analizy. Uwagę zwraca znikomy udział artykułów wyszukiwanych na podstawie hasła „Mikroklimat gorący i zimny” oraz dominujący udział artykułów związanych z hasłem „Hałas”. Należy zauważyć, że pomimo trendu spadkowego w liczbie artykułów odpowiadających hasłu „Hałas” przewyższa ona liczbę artykułów odpowiadających każdemu spośród pozostałych haseł kluczowych. Pozostaje to w zgodzie z charakterem danych GUS przedstawionych we wstępie (tab. 1 i rys. 1). W przypadku danych GUS udział czynnika „Hałas” w latach 2021, 2022 oraz 2024 jest niemal trzykrotnie większy niż następny w kolejności czynnik „Pyły”. W przypadku liczby artykułów zindeksowanych w BazTech proporcja pomiędzy liczbą artykułów dotyczących hałasu a następnym w kolejności dowolnym czynnikiem (rys. 2) zawiera się w zakresie od 1,2 do 2,1. Nieco odmienna jest sytuacja w przypadku kolejnego czynnika



Rys. 2. Liczba polskojęzycznych artykułów zindeksowanych w bazie BazTech spełniających kryteria wyszukiwania według haseł kluczowych



Rys. 3. Zestawienie danych statystycznych o czynnikach szkodliwych i niebezpiecznych oraz uciążliwych dla zdrowia w Polsce [3] z liczbą artykułów spełniających kryteria wyszukiwania w bazie BazTech. Dane unormowano względem wyników odnoszących się do hałasu

pod względem liczby artykułów uwzględnionych w bazie. We wszystkich analizowanych latach drugą co do liczebności grupę artykułów stanowią te, które wyszukiwane są poprzez hasło „Substancje chemiczne”, i jest to odmienna zależność od przytoczonych w tab. 1 danych GUS dotyczących narażenia na czynniki ryzyka wynikające ze środowiska pracy. Według tych danych drugim co do liczby stwierdzonych przypadków jest bowiem czynnik „Pyły”, a „Substancje chemiczne” zajmują czwartą lub piątą pozycję w zestawieniu.

Pokazana dominująca rola hałasu zarówno w danych GUS, jak i w danych BazTech pozwala traktować hałas jako punkt wyjścia do dalszej analizy, tj. dane pochodzące z obydwu wymienionych źródeł można unormować względem danych dotyczących hałasu. Z uwagi na stosunkowo niewielką zmienność pomiędzy kolejnymi latami w danych statystycznych do analizy wybrano ostatnio dostępne dane GUS, pochodzące z 2024 r. W przypadku danych BazTech uwzględniono całkowitą liczbę zindeksowanych w tej bazie artykułów za cały rozpatrywany okres. Na rys. 3 zamieszczono wyniki zestawienia danych statystycznych o czynnikach szkodliwych i niebezpiecznych oraz uciążliwych dla zdrowia w Polsce z liczbą artykułów spełniających kryteria wyszukiwania według haseł odwołujących się do tych czynników.

Położenie punktów danych na rys. 3, obejmujące wszystkie czynniki poza hałasem, pozwala wnioskować o relacji między liczbą przypadków, kiedy zajmowano się problematyką dotyczącą któregoś z tych pięciu czynników, a skalą zagrożenia tym czynnikiem. Odstępstwo od proporcjonalnej relacji między liczbą artykułów przypisanych do określonego czynnika a skalą zagrożenia tym czynnikiem jest tym większe, im większa jest odległość punktu danych od linii przerywanej wskazującej na równą proporcję. Niemal równe proporcje pomiędzy wymienionymi składowymi występują zatem w przypadku czynnika „Pyły” – punkt na wykresie reprezentujący dane dotyczące tego czynnika znajduje się bardzo blisko przerywanej linii. Szczególną uwagę zwraca natomiast niekorzystne zlokalizowanie punktu danych opisującego mikroklimat gorący i zimny. Jego położenie znacznie poniżej przerywanej linii wskazuje, że tematyka artykułów obejmujących mikroklimat gorący i zimny była podejmowana zbyt rzadko w stosunku do częstości występowania tego czynnika w środowisku pracy.

Podsumowanie

Publikowanie wyników prac naukowo-badawczych jest niezbędnym elementem upowszechniania wiedzy, a zarazem praktycznego oddziaływania społeczno-gospodarczego. W artykule dokonano zestawienia danych statystycznych na temat najczęściej występujących w Polsce szkodliwych i niebezpiecznych oraz uciążliwych dla zdrowia czynników ryzyka wynikających ze środowiska pracy z danymi o liczności polskojęzycznych publikacji odpowiadających hasłowo tym czynnikom. Właściwą reakcją na określone zagrożenia wynikające ze środowiska pracy powinno być proporcjonalne do skali problemu podejmowanie tej tematyki w pracach badawczych i naukowych. Można stwierdzić, że najliczniejszy zbiór publikacji odpowiadających hasłu „Hałas” odpowiada skali problemu obserwowanego w środowisku pracy. Artykuły o tej tematyce, mimo że z biegiem lat coraz rzadziej publikowane, są jednak najbardziej liczne spośród publikacji zajmujących się analizowanymi czynnikami ryzyka w środowisku pracy. Trend spadkowy w publikowaniu prac o tematyce hałasu stanowi przy tym sygnał ostrzegawczy dla specjalistów zajmujących się tym czynnikiem fizycznym. Można wyciągnąć wniosek, że należy nie tyle utrzymać, ile wzmocnić działalność zmierzającą do rozwiązywania problemów dotyczących narażenia na hałas.

Znacząco mniejsza liczba publikacji o innych niż hałas czynnikach ryzyka wynikających ze środowiska pracy prowadzi do wniosku, że niezbędne jest zwiększenie liczby opracowań na ich temat. Analiza liczby indeksowanych polskojęzycznych artykułów powinna przy tym być szczególnie motywująca do podejmowania prac naukowo-badawczych o tematyce obejmującej mikroklimat gorący i zimny, a następnie do publikowania ich wyników.

dr inż. Witold Sygocki
dr hab. inż. Rafał Młyński
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
Kontakt: wisygo@ciop.pl

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Zadanie nr 7.ZS.06 pt. „Komunikacja naukowa (dotycząca bezpiecznego funkcjonowania człowieka w środowisku pracy) na rzecz podnoszenia efektywności prac badawczych”. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN ISO 45001:2024-02 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Wymagania i wytyczne stosowania.
- [2] PN-Z-08052:1980 Ochrona pracy. Niebezpieczne i szkodliwe czynniki występujące w procesie pracy. Klasyfikacja.
- [3] *Warunki pracy w 2024 r.*, Warszawa, Gdańsk: GUS, 2025; <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/warunki-pracy-w-2024-r,1,19.html>.
- [4] *Warunki pracy w 2023 r.*, Warszawa, Gdańsk: GUS, 2024; <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/warunki-pracy-w-2023-roku,1,18.html#>.
- [5] *Warunki pracy w 2022 r.*, Warszawa, Gdańsk: GUS, 2023; <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/warunki-pracy-w-2022-roku,1,17.html>.
- [6] *Warunki pracy w 2021 r.*, Warszawa, Gdańsk: GUS, 2022; <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/warunki-pracy-w-2021-roku,1,16.html>.
- [7] Baza danych o zawartości polskich czasopism technicznych BazTech; <https://baztech.icm.edu.pl>.