

KONCEPCJA BEZPRZEWODOWEGO SYSTEMU MONITORINGU I ZDALNEJ KONTROLI HAŁASU I DRGAŃ MECHANICZNYCH BAZUJĄCEGO NA ROZWIĄZANIACH Z ZAKRESU INTERNETU RZECZY

Leszek MORZYŃSKI
lmorzyns@ciop.pl

Grzegorz SZCZEPAŃSKI
grszc@ciop.pl

Krzysztof ŁADA
krlad@ciop.pl

Grzegorz MAKAREWICZ
grmak@ciop.pl

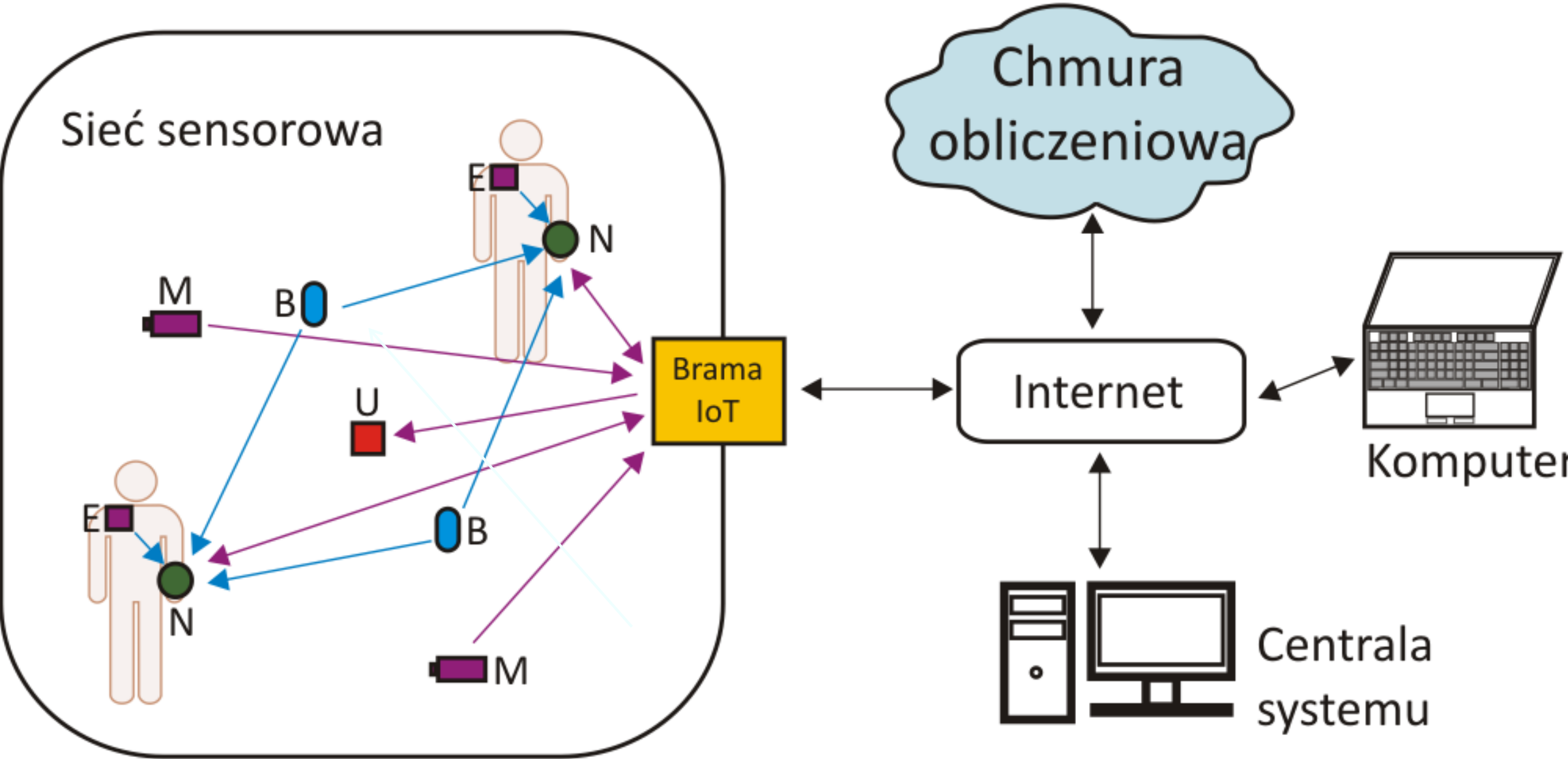
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

WPROWADZENIE

Środowisko pracy jest środowiskiem, w którym mogą występować czynniki szkodliwe dla zdrowia pracowników. Według danych GUS dotyczących warunków pracy w 2022 roku najczęściej występującym w środowisku pracy czynnikiem szkodliwym dla zdrowia był hałas, w zagrożeniu którym pracowało 181,8 tys. osób. Hałasowi w środowisku pracy często towarzyszy również z inny rodzaj szkodliwego czynnika wibroakustycznego – drgania mechaniczne. W 2022 r. w zagrożeniu drganiami mechanicznymi pracowało niemal 13,5 tys. osób. Praca w narażeniu na czynniki, których stężenie lub natężenie przekracza wartości dopuszczalne (NDN) prowadzi do powstawania chorób zawodowych, którymi w przypadku hałasu i drgań mechanicznych są odpowiednio ubytek słuchu i zespół vibracyjny. Obowiązujące przepisy prawa pracy zobowiązują pracodawców do dokonywania pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy w regularnych, określonych przepisami, odstępach czasu oraz ograniczania narażenia pracowników na te czynniki do poziomów nieprzekraczających wartości NDN. W niektórych przypadkach ocena narażenia pracowników na hałas lub drgania mechaniczne może być zagadnieniem trudnym. Szczególnie niebezpieczne dla zdrowia pracowników mogą być zmiany natężenia czynników szkodliwych zachodzące w krótkim czasie, np. w wyniku zużycia lub awarii maszyn i urządzeń. W wielu przedsiębiorstwach proces produkcyjny dostosowywany jest także do aktualnego zapotrzebowania rynku. Występują również przypadki stanowisk prac, na których ze względu na rodzaj wykonywanych zadań narażenie na hałas jest zmienne w czasie. Uwzględnienie takich zagadnień w ocenie narażenia na czynniki szkodliwe, ze względu na wspomnianą zmienność, jest trudnym zagadnieniem. Rozwiązaniem tego problemu może być stały monitoring zagrożeń wibroakustycznych w środowisku pracy. Obecny postęp w dziedzinie techniki umożliwia stworzenie odpowiedniego systemu monitoringu zagrożeń wibroakustycznych w obszarze przedsiębiorstwa, bazującego na bezprzewodowej sieci sensorowej. Dzięki wykorzystaniu technik Internetu rzeczy (IoT) oraz algorytmów przetwarzania sygnałów i podejmowania decyzji, sieć taka mogłaby na bieżąco analizować i oceniać zagrożenie hałasem i drganiami mechanicznymi w środowisku oraz oceniać ekspozycję pracowników na te czynniki. Co więcej, w oparciu o pomiary hałasu i/lub drgań mechanicznych możliwe jest wykrywanie awarii maszyn i urządzeń, co ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa oraz funkcjonowania zakładu pracy. Poniżej przedstawiono propozycję struktury tego rodzaju systemu oraz możliwości realizacji wybranych elementów tego systemu w oparciu o dostępne na rynku komponenty elektroniczne.

STRUKTURA SYSTEMU MONITORINGU ZAGROŻEŃ WIBROAKUSTYCZNYCH

Podstawową strukturę systemu przedstawiono na Rys. 1. Podstawowymi elementami systemu są autonomiczne układy pomiarowe hałasu i drgań mechanicznych (ozn. M), rozmieszczane w miejscach występowania tych zagrożeń. Układy pomiarowe przesyłają do centrali systemu dane o aktualnie występujących zagrożeniach. Uwzględniając założenie o mobilności pracowników kolejnymi elementami systemu powinny być noszone przez pracowników indywidualne mierniki hałasu (E) które przesyłają dane o narażeniu na hałas do noszonego przez pracownika urządzenia nasobnego w formie zegarka (N). Elementami systemu są również tzw. beacony (B) rozmieszczone w określonych punktach zakładu pracy. Są to nadajniki radiowe wykorzystywane do detekcji obecności pracownika w miejscu występowania zagrożeń. Urządzenia nasobne odbierają sygnał od beaconów i przesyłają je do centrali systemu, która identyfikuje położenie pracownika. Jeżeli urządzenie nasobne znajduje się w strefie zagrożenia centrala wysyła do niego odpowiedni komunikat. Dzięki temu pracownicy będą mogli modyfikować i dostosowywać swoje zachowanie do panujących warunków środowiska pracy, np. unikać stref zagrożenia czy zakładać odpowiednie środki ochrony indywidualnej. System tworzą również układy wykonawcze (U) współpracujące z elementami automatyki przemysłowej maszyn. Umożliwiają one automatyczną reakcję systemu na pojawiające się zagrożenia, np. poprzez wyłączenie lub zmianę trybu pracy danej maszyny. Gromadzenie i przetwarzanie danych o zagrożeniach może być również realizowane z wykorzystaniem rozwiązań chmurowych.

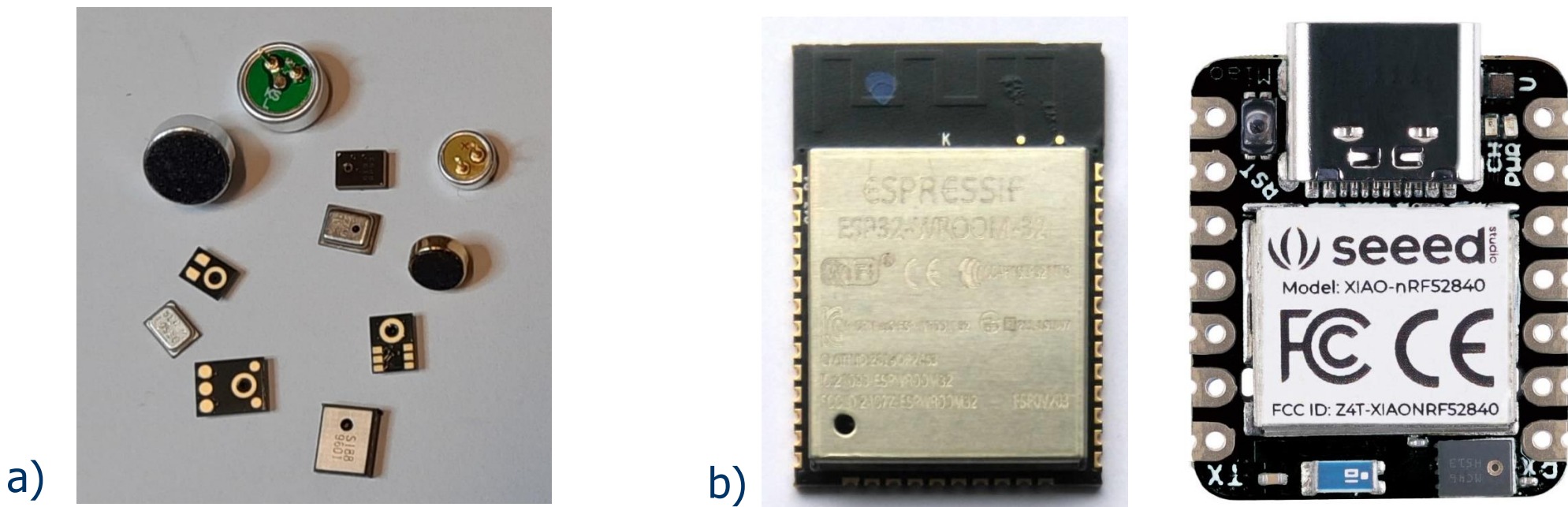


Rys. 1. Podstawowy schemat struktury systemu monitoringu (M – układy pomiarowe hałasu lub drgań mechanicznych, N – urządzenie nasobne w formie zegarka, E – indywidualny miernik hałasu, B – beacon Bluetooth, U – układ wykonawczy, strzałki fioletowe – połączenia bezprzewodowe Wi-Fi, strzałki niebieskie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

Opracowano 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 p.t. „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

MOŻLIWOŚCI REALIZACJI URZĄDZEŃ SYTEMU MONITORINGU

Na właściwości i możliwości opracowywanego systemu monitoringu istotny wpływ będzie miał dobór komponentów elektronicznych użytych do jego realizacji. W przypadku układów pomiarowych hałasu kluczowy jest dobór mikrofonu pomiarowego. Powszechnie wykorzystywane dotychczas w urządzeniach do pomiaru i przetwarzania dźwięku mikrofony elektretowe obecnie coraz częściej zastępowane są mikrofonami typu MEMS (Rys. 2a), które mogą występować w wersji analogowej lub cyfrowej. Ważnym parametrem mikrofonu jest górna granica zakresu przetwarzania mikrofonu, czyli tzw. Acoustic Overload Point (AOP), która dla proponowanego zastosowania powinna być jak najwyższa. Tylko nieliczne mikrofony posiadają AOP wynoszące 130 dB lub więcej. Do oceny zagrożenia hałasem niezbędne jest wyznaczenie odpowiednich jego parametrów, takich jak np. poziom dźwięku A lub też widmo. Wymaga to przeprowadzenia szeregu operacji na próbkach sygnału akustycznego. Wyznaczanie tych parametrów powinno odbywać się bezpośrednio w układzie pomiarowym (tzw. przetwarzanie brzegowe) ze względu na ograniczoną przepustowość sieci bezprzewodowej transmisji danych. Implikuje to zastosowanie w układach pomiarowych procesora o odpowiedniej mocy obliczeniowej. Zaproponowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie procesora typu ESP32. Ten typ procesora jest obecnie bardzo popularny w rozwiązaniach IoT ze względu na wydajną jednostkę obliczeniową zintegrowaną z układami umożliwiającymi łączność bezprzewodową zarówno w standardzie Wi-Fi jak i Bluetooth LE. Obecnie na rynku dostępnych jest bardzo wiele modułów radiowych i płytek rozwojowych bazujących na tym procesorze (Rys. 2b). W ramach realizowanego projektu możliwości przetwarzania sygnałów akustycznych za pomocą procesora WSP32 sprawdzono wykorzystując płytkę rozwojową Seeed XIAO.



Rys. 2. Mikrofony elektretowe i MEMS (a) oraz układy elektroniczne bazujące na procesorze typu ESP32: ESP32 –WROOM-32 i Seeed XIAO (b)

Zgodnie z zaproponowaną strukturą systemu monitoringu urządzenia nasobne w postaci zegarka pośredniczą w przekazywaniu pracownikowi informacji o zagrożeniach a jednocześnie jest wykorzystywane do lokalizacji pracownika w obrębie zakładu pracy. Musi zatem być wyposażone co najmniej w wyświetlacz do przekazywania komunikatów oraz układy łączności radiowej pracujące w standardach Wi-Fi i Bluetooth. Zaproponowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie dostępnego na rynku programowalnego układu zegarkowego Lilygo T-Watch-2000 (Rys. 3a), posiadającego wymienione funkcje i bazującego na wymienionym wcześniej procesorze ESP32. Kolejnym elementem systemu monitoringu są beacony Bluetooth. Na rynku dostępnych jest szereg modeli tego rodzaju urządzeń różnych producentów. W pracach nad systemem wykorzystano beacony prod. iNode (Rys. 3b)



Rys. 3. Urządzenie nasobne Lilygo T-Watch-2000 (a) oraz beacon Bluetooth iNode (b)

Na rynku dostępnych jest coraz więcej urządzeń automatyki przemysłowej wspierających rozwiązania z zakresu IoT, które mogą być wykorzystane w realizowanym projekcie w roli urządzeń wykonawczych. Na Rys. 4 przedstawiono wybrane modele urządzeń LanTick, Shelly, Finder OPTA i EdgeBox. W ramach prowadzonych prac testowano możliwości komunikacji z tymi urządzeniami oraz starowania, w tym z wykorzystaniem rozwiązań chmurowych.



Rys. 4. Wybrane urządzenia automatyki przemysłowej (po lewej) i sterownik LanTick w trakcie testów.

PODSUMOWANIE

Bezprzewodowe sieci sensorowe, w tym wykorzystujące rozwiązania z obszaru Internetu rzeczy mogą stanowić znakomite narzędzie do monitorowania zagrożeń hałasem i drganiami mechanicznymi w środowisku pracy, kontroli tych zagrożeń oraz ostrzegania przed nimi pracowników. Zaproponowany system monitoringu umożliwi niezwłoczne reagowanie na pojawiające się nowe zagrożenia lub zmiany natężeń już istniejących wpływając tym samym na poprawę warunków pracy. Dostępne obecnie technologie elektroniczne i informatyczne w pełni umożliwiają realizację tego rodzaju systemów monitoringu.