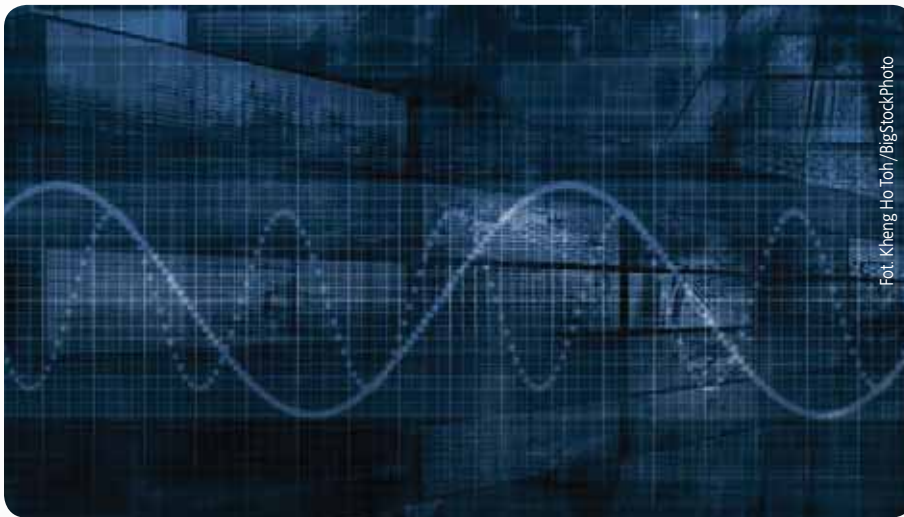


dr inż. LESZEK MORZYŃSKI
mgr inż. TOMASZ KRUKOWICZ
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Mikroprocesorowy wskaźnik dozymetryczny do monitorowania narażenia na hałas w środowisku pracy



Fot. Kheng Ho Toh/BigStockPhoto

W artykule przedstawiono propozycję urządzenia elektronicznego, które wspierałoby pracodawców w wykonywaniu obowiązków wynikających z przepisów bhp odnoszących się do zagrożenia hałasem w środowisku pracy. Urządzeniem tym jest mikroprocesorowy wskaźnik dozymetryczny, którego zadaniem jest monitorowanie indywidualnego narażenia na hałas pracowników i informowanie o przekroczeniu dopuszczalnych wartości wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy. Przedstawiono także budowę wskaźnika, omówiono jego funkcje oraz sposób ich realizacji.

Microprocessor dosimetric indicator for monitoring exposure to noise at work

This paper presents an electronic device – a microcontroller-based dosimetric indicator for supporting employers in their obligations related to OSH regulations on occupational exposure to noise. This device monitors exposure and indicates when admissible values are exceeded.

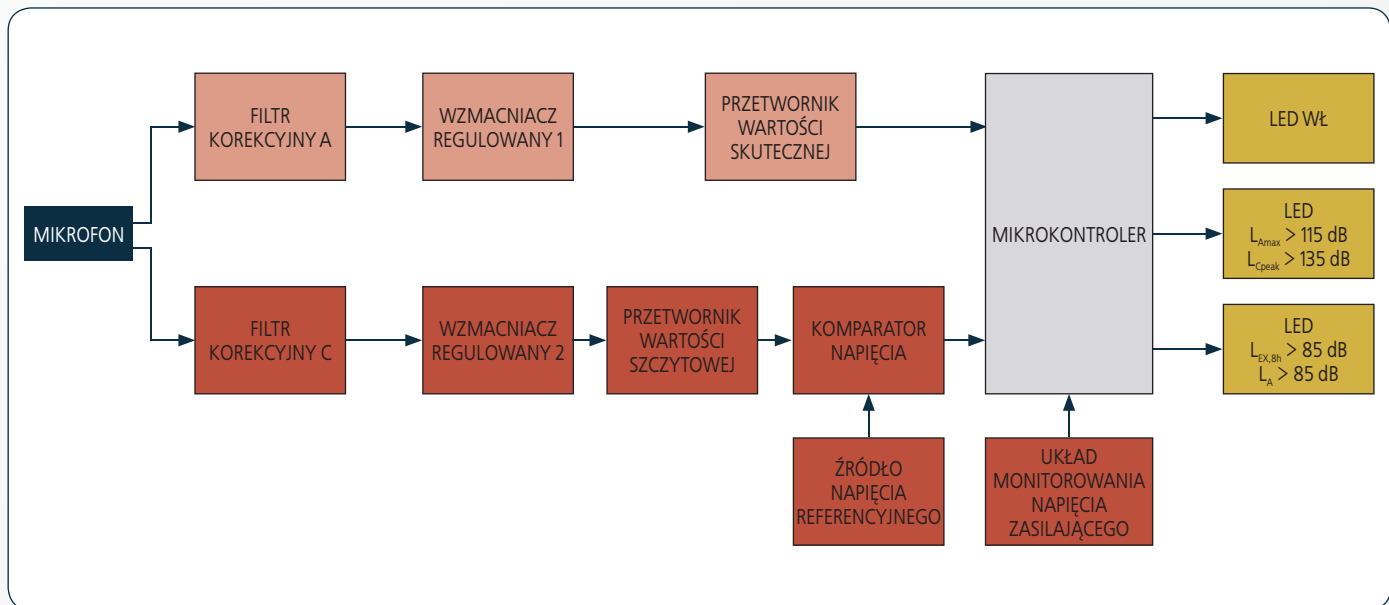
Wprowadzenie

Obowiązujące przepisy w zakresie bhp przy pracach związanych z narażeniem na hałas [1] nakazują pracodawcy wykonywanie pomiarów wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy, przeprowadzenie oceny ryzyka zawodowego związanego z tym czynnikiem oraz podjęcie działań prowadzących do eliminacji lub ograniczenia ryzyka zawodowego. Działania te obejmują m.in. informowanie i szkolenia pracowników na temat wyników oceny ryzyka zawodowego, w tym wyników pomiarów, rodzaju zagrożeń i ich skutków, środków niezbędnych do wyeliminowania lub ograniczenia ryzyka zawodowego oraz sposobów ich stosowania, przyczyn powstawania chorób powodowanych hałasem, ich objawów, profilaktycznej opieki zdrowotnej, bezpiecznych sposobów wykonywania pracy, prawidłowego stosowania środków ochrony indywidualnej.

Ponieważ hałas wciąż jest najpowszechniejszym zagrożeniem w środowisku pracy, konieczne jest opracowywanie nowych środków i rozwiązań technicznych, które będą wspierać pracodawców w realizacji obowiązków związanych z ograniczaniem narażenia na hałas. Jest to szczególnie istotne w przypadku mikro- i małych przedsiębiorstwach, w których wypełnianie wspomnianych obowiązków jest trudne z uwagi na ograniczone środki finansowe, jakie mogą być przeznaczone na bezpieczeństwo i higienę pracy.

Jednym z proponowanych rozwiązań jest opracowany w CIOP-PIB miniaturowy wskaźnik dozymetryczny do monitorowania indywidualnego narażenia na hałas w środowisku pracy, który mógłby stanowić wyposażenie każdego pracownika. Niewielkie gabaryty i masa wskaźnika umożliwiają przypięcie go do odzieży bez ograniczania swobody ruchów pracownika. Zaletą wskaźnika jest możliwość oszacowania narażenia pracownika na hałas w przypadku, gdy praca nie ma charakteru stacjonarnego, a pracownik zmienia miejsce wykonywanych czynności (dotyczy to np. operatorów wózków widłowych, pracowników obsługujących kilka maszyn w ciągu dnia pracy). Sygnalizacja przekroczenia dopuszczalnych wartości wielkości charakteryzujących hałas informuje o potrzebie podjęcia działań, celem których byłoby obniżenie indywidualnego narażenia na hałas (np. wyposażenie pracownika w odpowiednio dobrane środki ochrony słuchu).

W dalszej części artykułu przedstawiono opracowany w CIOP-PIB prototyp mikroprocesorowego układu wskaźnika dozymetrycznego do monitorowania narażenia na hałas w środowisku pracy.



Rys. Schemat blokowy wskaźnika dozymetrycznego
Fig. Block diagram of dosimetric indicator



Fot. Wskaźnik dozymetryczny opracowany w CIOP-PIB
Photo. Dosimetric indicator researched in CIOP-PIB

Funkcje wskaźnika dozymetrycznego

Główną funkcją wskaźnika jest sygnalizowanie wystąpienia przekroczenia wartości dopuszczalnych hałasu w środowisku pracy. Według obowiązujących przepisów [2], hałas ten jest określany za pomocą trzech wielkości. Są to: poziom ekspozycji na hałas, odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{EX,8h}$ (wartość NDN równa 85 dB) lub dzienna ekspozycja na hałas – $E_{A,Td}$ ($3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$), maksymalny poziom dźwięku A – L_{Amax} (wartość NDN równa 115 dB) oraz szczytowy poziom dźwięku C – L_{Cpeak} (wartość NDN równa 135 dB).

Z uwagi na fakt, że obowiązują trzy wielkości określające hałas w środowisku pracy, wskaźnik dozymetryczny pokazuje przekro-

czeniu dopuszczalnej wartości każdej z nich. Ponadto sygnalizuje przekroczenie wartości 85 dB poziomu dźwięku A – ta dodatkowa informacja wskazuje na to, że dany hałas może być szkodliwy dla zdrowia przy długotrwałym narażeniu.

Budowa i działanie wskaźnika dozymetrycznego

Schemat blokowy przedstawionego wskaźnika dozymetrycznego przedstawiono na rys., a jego widok na fot.

Przetworzenie ciśnienia akustycznego na przebieg elektryczny jest dokonywane za pomocą mikrofonu elektretowego. Kolejnymi elementami układu są filtry korekcyjne. Wyznaczenie wartości wielkości $L_{EX,8h}$ oraz L_{Amax} wymaga filtracji sygnału elektrycznego pochodzącego z mikrofonu przez filtr o częstotliwościowej charakterystyce korekcyjnej A. W przypadku wielkości L_{Cpeak} sygnał z mikrofonu powinien być przefiltrowany przez filtr o częstotliwościowej charakterystyce korekcyjnej C.

Wyznaczenie wartości skutecznej sygnału elektrycznego jest konieczne z uwagi na definicję równoważnego poziomu dźwięku A. Jest on wyznaczany z wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A. Podobnie, szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak} jest wyznaczany na podstawie wartości szczytowej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową C. Napięcie wyjściowe przetwornika wartości szczytowej jest porównywane w komparatorze napięć z napięciem referencyjnym o wartości odpowiadającej ciśnieniu akustycznemu o poziomie

$L_{Cpeak} = 135 \text{ dB}$. Komparator napięcia przechodzi w stan wysoki (na jego wyjściu pojawia się napięcie bliskie napięciu zasilania), gdy sygnał z przetwornika wartości szczytowej ma amplitudę większą od napięcia referencyjnego.

Aktywacja elementów sygnalizujących następuje po wykonaniu przez mikroprocesor odpowiednich działań i obliczeń. W przypadku poziomu L_{Cpeak} jest to sprawdzenie, czy napięcie na wyjściu komparatora ma stan wysoki. Przetwarzanie sygnału w przypadku wielkości opisujących hałas na podstawie poziomu dźwięku A wygląda następująco. Mikroprocesor jest wyposażony w przetwornik analogowo-cyfrowy, na wejście którego podawany jest sygnał z przetwornika wartości skutecznej. Wynikiem konwersji na postać cyfrową jest wartość liczbowa odpowiadająca aktualnej wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A. Określenie, czy przekroczona została wartość dopuszczalna maksymalnego poziomu dźwięku A odbywa się poprzez porównanie otrzymanej w wyniku bieżącej konwersji liczby z wartością liczbową odpowiadającą wartości dopuszczalnej.

Wyznaczenie wartości wielkości charakteryzującej ekspozycję na hałas ($L_{EX,8h}$ lub $E_{A,Td}$) wymaga z kolei przeprowadzenia szeregu operacji arytmetycznych na próbkach sygnału, a liczba i złożoność tych operacji zależy od wyboru wielkości, której wartość jest wyznaczana. Przy obliczaniu poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{EX,8h}$ wykorzystywane są powszechnie znane zależności, określone m.in. w normie PN-ISO 1999 [3] i PN-EN ISO 9612 [4], zgodnie



z którymi poziom ekspozycji na hałas, $L_{EX, 8h}$ określony jest zależnością:

$$L_{EX, 8h} = L_{Aeq, Te} + 10 \lg \frac{T_e}{T_0} \quad (1)$$

gdzie:

T_e – efektywny czas dnia pracy

T_0 – czas odniesienia (8 godzin lub 28800 sekund)

$L_{Aeq, T}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, określony za pomocą zależności:

$$L_{Aeq, T} = 10 \lg \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (2)$$

gdzie:

t_1 – czas rozpoczęcia pomiaru

t_2 – czas zakończenia pomiaru

$p_A(t)$ – chwilowa wartość ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A.

Ponieważ po przetworzeniu na postać cyfrową przebieg elektryczny odpowiadający zmianom ciśnienia akustycznego $p_A(t)$ jest sygnałem z czasem dyskretnym o okresie próbkowania Δt , poziom równoważny dźwięku A może być wyznaczony z zależności:

$$L_{Aeq, Te} = 10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (10^{0,1 L_{pAi}}) \right] \quad (3)$$

gdzie:

L_{pAi} – poziom dźwięku A dla dyskretnych chwil i

n – liczba próbek sygnału w pobranych w czasie ekspozycji T_e .

Ponieważ wyznaczenie poziomu ekspozycji na hałas wymaga licznych złożonych operacji

arytmetycznych, niezbędna jest znajomość *a priori* czasu narażenia T_e . Z tego względu znacznie wygodniej jest posłużyć się w tym przypadku drugą wielkością, czyli ekspozycją na hałas skorygowaną charakterystyką częstotliwościową A (nazywaną również „dawką hałasu”). Ekspozycja na hałas (przy założeniu, że przedziały czasu T_i dla których mierzone są poziomy dźwięki A, są krótkie) jest wyznaczona z zależności:

$$E_{A,d} = \sum_{i=1}^n p_0^2 \left[T_i \times 10^{0,1 L_{pAi}} \right] \quad (4)$$

gdzie:

L_{pAi} – poziom dźwięku A zmierzony w przedziale czasu T_i

n – liczba przedziałów czasu.

Ponieważ przetwarzane sygnały odpowiadają wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, wyrażenie (4) można uprościć do postaci, która znacząco upraszcza obliczenia:

$$E_{A,d} = \sum_{i=1}^n T_i p_{Ai}^2 \quad (5)$$

Gdy obliczana na bieżąco (tzn. w każdej dyskretnych chwili czasu) ekspozycja na hałas przekroczy wartość dopuszczalną, wówczas moduł sygnalizuje to za pomocą odpowiedniej diody LED.

W trakcie opracowania układu prototypowego wskaźnika dozymetrycznego położono nacisk na zminimalizowanie jego wymiarów, poboru energii elektrycznej oraz kosztu jego komponentów. Minimalizacja kosztów wykonania, masy i gabarytów wskaźnika dozymetrycznego jest realizowana bezpośrednio przez zastosowanie powszechnie dostępnych, miniaturowych elementów elektronicznych oraz pośrednio przez minimalizację poboru energii elektrycznej, co obniża koszty eksploatacji urządzenia.

Liczbę diod sygnalizujących LED w układzie prototypowym wskaźnika ograniczono do trzech. Pierwsza z nich sygnalizuje stan pracy urządzenia. Za pomocą drugiej diody sygnalizowane są przekroczenia dopuszczalnych wartości poziomów L_{Cpeak} oraz L_{Amax} . Trzecia dioda sygnalizuje przekroczenie dopuszczalnej wartości poziomu ekspozycji na hałas $L_{EX, 8h}$ oraz przekroczenie wartości $L_A = 85$ dB. Takie rozwiązanie pozwala na ograniczenie kosztów i poboru mocy, a jednocześnie powoduje, że obsługa wskaźnika staje się prostsza i bardziej intuicyjna. Układ jest zasilany dwiema bateriami typu AAA o napięciu 1,5 V. Należy podkreślić, że wszystkie elementy i układy elektroniczne wykorzystane do zbudowania modelu są powszechnie dostępne i tanie.

Podsumowanie

Przedstawiony w artykule wskaźnik dozymetryczny do monitorowania indywidualnego narażenia na hałas na stanowiskach pracy informuje o przekroczeniach wartości dopuszczalnych hałasu. Wykorzystanie mikrokontrolera w konstrukcji układu pozwala na określenie wymiaru godzin dnia pracy na danym stanowisku, po upływie którego przekroczony zostaje dopuszczalny poziom ekspozycji na hałas. Wskaźnik charakteryzuje się ciągłą pracą przez czas dłuższy niż 8 godzin oraz małą masą i gabarytami. Obwód drukowany wraz z pojemnikiem na baterie jest zamknięty w obudowie o wymiarach 50 x 70 x 10 mm. Masa urządzenia łącznie z bateriami wynosi 75 g.

Wskaźnik dozymetryczny do monitorowania narażenia na hałas w środowisku pracy może stanowić przydatne narzędzie, wspierające działania pracodawcy, zmierzające do ograniczenia ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją na hałas. Może on być wykorzystany jako pomoc dydaktyczna w działaniach informacyjnych i edukacyjnych, jak również stanowić wsparcie wczesnego wykrywania zagrożenia ponadnormatywnym hałasem. Należy jednak podkreślić, że wskaźnik dozymetryczny nie jest urządzeniem, które może być stosowane zamiennie z miernikami dźwięku, spełniającymi wymagania norm PN-EN 61672-1 [5] i PN-EN 61252 [6] przy wykonywaniu pomiarów hałasu w środowisku pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne. DzU nr 157, poz. 1318
- [2] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833
- [3] PN-ISO 1999 *Akustyka – wyznaczanie ekspozycji zawodowej na hałas i szacowanie uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem*, PKN, 29 grudnia 2000
- [4] PN-EN ISO 9612 – *Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna*
- [5] PN-EN 61672-1 *Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania*
- [6] PN-EN 61252 *Elektroakustyka – Wymagania dotyczące indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk*

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.