

Akustyka ciszy

Tematyka większości konferencji naukowych, a także publikacji podejmujących problematykę hałasu koncentruje się na poziomach ciśnienia akustycznego w przedziałach: szkodliwości (80-130 dB) i w mniejszym zakresie uciążliwości (45-80 dB). W ostatnich dwóch latach podjęto wiele prac związanych z przedziałem komfortu akustycznego (poziomy 20-45 dB). W artykule scharakteryzowano znaczenie tego przedziału w kilku przekrojach: fizycznym, metrologicznym i prawnym. Przedstawiono także wybrane zagadnienia bardzo niskich poziomów ciśnienia akustycznego (poniżej 20 dB).

Słowa kluczowe: cisza, hałas, środowisko, komfort akustyczny

Acoustics of silence

Previous themes of most scientific conferences, as well as publications addressing issues of noise have focused on SPL intervals: of danger (80-130 dB) and to a lesser extent of annoyance (45-80 dB). In the last two years, there have been a series of studies on to the range of acoustic comfort (20-45 dB). The paper discusses the importance of this range in several approaches (physical, metrological, legal). It also presents selected issues on very low sound pressure levels (below 20 dB).

Keywords: silence, noise, environment, acoustic comfort



Fot. Milkos/Bigstockphoto

Wstęp

Większość publikacji i doniesień naukowych poświęconych problematyce hałasu, w tym także referatów wygłaszanych podczas kolejnych siedemnastu konferencji międzynarodowych „Noise Control”, dotyczy różnorodnych zagadnień hałasu o poziomach (SPL, ang. *sound pressure level*) z zakresów: szkodliwości 80-130 dB oraz w mniejszej liczbie uciążliwości 45-80 dB. Warto jednak zauważyć, że liczba publikacji dotyczących wartości SPL znajdujących się poniżej drugiego z tych zakresów jest znacząco mniejsza i w obszarze problematyki fizykotechnicznej dotyczy przykładowo hałasu: linii energetycznych [1], energetyki wiatrowej [2], a także badań szeroko rozumianego horyzontu akustycznego/klimatu akustycznego (w środowisku zewnętrznym lub hałasu środowiskowego, a także akustyki w mieszkalnictwie), [3, 4].

Podobnie legislacja i normalizacja zarówno krajowa, jak i międzynarodowa, jest nastawiona przede wszystkim na ocenę i wartościowanie hałasu w wymienionych zakresach.

W 1999 r. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zwróciła uwagę na znaczne różnice wartości dopuszczalnych i zalecanych dla hałasu środowiskowego w poszczególnych krajach. Publikacje

wykazujące rosnące wartości poziomów hałasu jako następstwa rozwoju cywilizacyjnego, a także liczebności narażonych na hałas populacji ludzkich spowodowały konieczność dokładniejszego określania udziałów czasu narażenia i czasu przerwy w oddziaływaniu, pozwalających na oszacowanie dobowego bilansu narażenia na hałas [5, 6]. W stosowanych od kilkudziesięciu lat metodach oceny wpływu hałasu na organizm ludzki przyjmuje się, że im większy jest poziom hałasu np. w miejscu pracy, tym dla utrzymania prawidłowego stanu organizmu (narządu słuchu) wymagany jest:

- 1) krótszy czas oddziaływania,
- 2) wystarczająco długi czas przerwy w narażeniu na hałas.

I dalej, jeżeli czas działania hałasu o określonym poziomie wynosi $t_{działania}$, wówczas czas przerwy (odpoczynku) $t_{przerwy}$ jest ściśle określoną zależnością funkcyjną, wynikającą ze zdolności regeneracyjnych organizmu [7]. Zasada ta wynika z fizjologicznych właściwości mechanizmów ochronnych narządu słuchu i procesów fizjologicznych. Innymi słowy, aby organizm (przede wszystkim narząd słuchu) mógł się zregenerować, narażony powinien przebywać w korzystnym (jest to oczywiście eufemizm) klimacie (środowisku) akustycznym.

W ostatnim trzydziestoleciu badania środowiska akustycznego, traktowanego jako suma oddziaływań w miejscu pracy (głównie hałasu przemysłowego) i poza pracą, zwłaszcza w rozrastających się aglomeracjach miejskich, wykazały, że miejsc korzystnych dla ludzi (terenów i obiektów np. mieszkaniowych) jest coraz mniej, a pozostałe nie zapewniają warunków regeneracji i wypoczynku. Stan ten spowodował zmianę w klasyfikacji rodzajów hałasu. Już we wspomnianym opracowaniu WHO wykazano, że w poszczególnych państwach stosuje się często odmienne pojęcia oraz zasady oceny i różnicowania poziomów hałasu. Wartości normatywne, zalecane przez WHO, przedstawiono w tabeli 1. [8].

Porównując wartości zawarte w tej tabeli, z tabelą wartości dopuszczalnych, wymienionych w obowiązującym w Polsce rozporządzeniu z 2012 r., można łatwo zauważyć, jak przepisy te odstają od kryteriów WHO [9]. Podkreślić należy też, że wartości podane w nawiasach w tabeli 2. obowiązywały, z niewielkimi zmianami, od 1980 r. Autor pozostawia czytelnikowi wyciągnięcie wniosków wynikających z obowiązujących w naszym kraju standardów oceny hałasu środowiskowego.

Tabela 1. Skrót wymagań* WHO dotyczących hałasu środowiskowego (1999)

Table 1. WHO requirements related to environmental noise (1999)

Lp.	Określenie miejsca	Dopuszczalny poziom hałasu $L_{Aeq,T}$ liczba godzin/dobę
1.	Maksymalny akceptowany próg uciążliwości na terenach mieszkaniowych	$L_{Aeq,T}$ 16 = 55 dB
2.	Umiarkowanie akceptowany poziom uciążliwości na terenach mieszkaniowych	$L_{Aeq,T}$ 16 = 50 dB
3.	Wewnętrzny poziom hałasu w mieszkaniach	$L_{Aeq,T}$ 16 = 35 dB
4.	Wewnętrzny poziom hałasu w sypialniach w nocy	$L_{Aeq,T}$ 8 = 30 dB
5.	Zewnętrzny poziom hałasu dla sypialni w nocy	$L_{Aeq,T}$ 8 = 45 dB

*Ponadto WHO zaleca maksymalny, szczytowy poziom A emisji hałasu w nocy 45 dB wewnątrz sypialni i na fasadzie na zewnątrz budynku od strony położenia sypialni 60 dB. Wyższe wartości powodują zaburzenia snu.

Tabela 2. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku, powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami $L_{Aeq,D}$ i $L_{Aeq,N}$, które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby wg [9]

Table 2. Acceptable levels of environmental noise caused by selected groups of noise sources, with the exception of noise caused by take-offs, landings and pass overs of aircrafts, and electromagnetic lines expressed by $L_{Aeq,D}$ and $L_{Aeq,N}$ markers that find use in setting up and controlling circumstances of the use of environment – in respect to 24 hours' time [9]

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalne poziomy hałasu A w dB			
		Drogi lub linie kolejowe		Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		(pora dnia) $L_{Aeq,D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzin	(pora nocy) $L_{Aeq,N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzin	(pora dnia) $L_{Aeq,D}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzin najmniej korzystnym godzinom dnia kolejno po sobie następującym	(pora nocy) $L_{Aeq,N}$ przedział czasu odniesienia równy 1 godz. najmniej korzystnej godzinie nocy
1.	a. Strefa ochronna A uzdrowiska b. Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2.	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży c. Tereny domów opieki społecznej d. Tereny szpitali w miastach	61 było (55)	56 było (50)	50	40
3.	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej b. Tereny zabudowy zagrodowej c. Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d. Tereny mieszkaniowo-usługowe	65 (było 60)	56 (było 50)	55	45
4.	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców	68 (było 65)	60 (było 55)	55	45

Zakres poziomów hałasu $20 \leq L_A \leq 80$ dB

Przesłanki oceny klimatu akustycznego w środowisku poza pracą

Zakres rzeczowy omawianego przedziału poziomów ciśnienia akustycznego wynika z definicji obszaru cichego (pozwalającego na regenerację organizmu), sformułowanej przez WHO, jako: „obszar w terenie otwartym, wyznaczony przez organ ds. planowania działań, po konsultacji z Europejską Agencją Ochrony Środowiska (EEA) i zatwierdzony przez właściwego ministra; teren niezakłócony hałasem od ruchu (drogowego, lotniczego, kolejowego), przemysłu lub zajęć rekreacyjnych” [7, 10]. Przytoczona definicja obszarów bezpiecznych dla organizmu (zapewniających regenerację) jest czysto opisowa i daleka od precyzji.

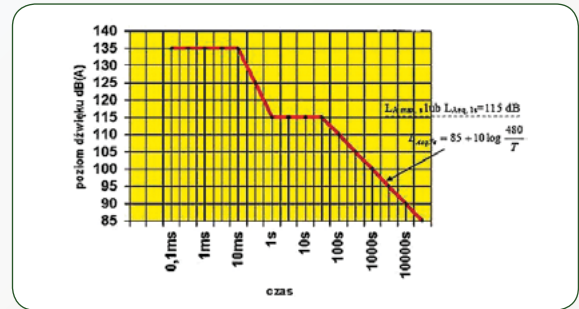
W języku angielskim (dokumenty WHO i EEA, [7, 11]), występuje kilka synonimów przydatnych do określenia cech akustycznego środowiska zewnętrznego, np. *calm* – spokojny, łagodny; *silence* i *quietness* – cisza, milczenie, zgodnie z D. Kurzonem [12]. W wydaniu przez EEA przewodniku dobrych praktyk na terenach cichych [11] proponuje się, aby środowisko akustyczne omawianego przedziału SPL określać jako tereny/

środowisko spokojne, pozostawiając określenia „cisza” trzeciemu przedziałowi poziomów ciśnienia akustycznego – bliskiego i poniżej progu słyszalności (0 dB). Autorzy tego opracowania podkreślają, że pojęcia ciszy nie są dobrze odbierane przez ludzi i nie bardzo pasują do określenia korzystnego dla nich środowiska akustycznego.

Jak już wspomniano, przebywanie w spokojnym obszarze akustycznym powinno zapewnić regenerację organizmu, uprzednio narażonego na szkodliwe lub uciążliwe działanie hałasu. Można by więc oczekiwać, że poziomy hałasu będą funkcjonalnie powiązane z poziomami występującymi w środowisku pracy [13]. Warto w tym miejscu przywołać często przytaczany wykres, stosowany do określenia dopuszczalnego czasu działania hałasu o określonym pomiarze poziomie (rys. 1.).

Przykładowo: jeżeli na stanowisku pracy zmierzono poziom dźwięku A 100 dB, to bezpieczny dla organizmu narażonego człowieka czas działania takiego hałasu nie może przekroczyć 1000 s, po czym osoba ta resztę doby powinna spędzić w środowisku zapewniającym regenerację organizmu.

Literatura dotycząca ilościowego określenia parametrów akustycznych środowiska poza



Rys. 1. Poziom dźwięku A jako funkcja czasu działania

Fig. 1. A-weighted SPL as a function of time of action

pracą jest wysoce niejednoznaczna. Większość źródeł podaje dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku poza pracą w odniesieniu do pomieszczeń lub terenów (tabela 1. i 2.), a więc cech użytkowych [14,15]. Podejmowane próby jednoznacznego określenia poziomów hałasu w stosunku do miejsc rekreacji lub regeneracji organizmu nie zakończyły się do tej pory sukcesem. Zdaniem autora jest to spowodowane nie tylko trudnościami powiązania reakcji organizmu narażonego na działanie hałasu w środowisku pracy oraz poza pracą, ale także faktem rozdzielania w wielu krajach (w tym w Polsce) czynności legislacyjno-normalizacyjnych pomiędzy różne resorty rządowe [13].

Sygnalizowane najpierw przez WHO [7], a potem także EEA [5] i urzędy ochrony środowiska krajów Unii Europejskiej (UE) niejednoznaczności w definiowaniu i ocenie obszarów i pomieszczeń akustycznie bezpiecznych (umożliwiających regenerację), w ostatniej dekadzie spowodowały podjęcie licznych działań, zmierzających do wypracowania możliwie jednoznacznych metod oceny i wartościowania takich obszarów (i pomieszczeń). Wymieni tu należy zmianę w podziale źródeł hałasu z trzech (drogowy, kolejowy, lotniczy) na pięć, przez dodanie źródeł

hałasu elektrowni wiatrowych i niezwykle szerokiej grupy źródeł hałasu wypoczynkowego (ang. *leisure noise*) [5, 7, 10, 16].

Trzy pierwsze rodzaje hałasu są od lat powszechnie znane. Natomiast a propos dwóch ostatnich – dodanie źródeł hałasu elektrowni wiatrowych jest zrozumiałe, jako wynik szybkiego rozwoju energetyki wiatrowej, zwłaszcza w zachodnich państwach UE (w mniejszym stopniu w Polsce). Elektrownie wiatrowe jako źródła hałasu aerodynamicznego są na pewno czynnikiem obciążenia środowiska i jako takie powinny być systematycznie kontrolowane (duża liczba publikacji na ten temat pozwala na pominięcie tego zagadnienia w tym artykule), [2]. Drugi z nowych rodzajów hałasu – wypoczynkowy – ze względu na ogromną różnorodność wymaga szerszego omówienia.

Wychodząc z zagadnień opisujących hałas w środowisku pracy, można zauważyć, że istnieją tam bardziej ujednolicone i powtarzalne warunki emisji i immisji hałasu, wynikające ze stabilnych (zwykle w dłuższych przedziałach czasu) właściwości technologiczno-organizacyjnych na stanowiskach pracy. To pozwoliło na ujednolicenie metod pomiaru i oceny hałasu, zakończone ustanowieniem norm i przepisów prawnych, okresowo aktualizowanych i podlegających mniej lub bardziej rygorystycznej kontroli [13].

Zupełnie inaczej jest w przypadku tzw. hałasu wypoczynkowego (uproszczenie dla ułatwienia dalszego rozumowania). W tym przypadku mamy do czynienia z odbiorem zjawisk akustycznych nie tylko w sposób obiektywny, ale również subiektywny, ponieważ na naszą percepcję hałasu wpływają zachowania ogólnospołeczne, wywołujące w nas określone reakcje, czyli odczucia [5, 10]. Jak już wspomniano, wielkości określające dopuszczalne wartości poziomów hałasu w wybranych miejscach (tabela 1. i 2.) są już mocno przestarzałe. Nie uwzględniają bowiem negatywnych lub pozytywnych odczuć człowieka, przebywającego w określonym środowisku akustycznym [13, 17, 18].

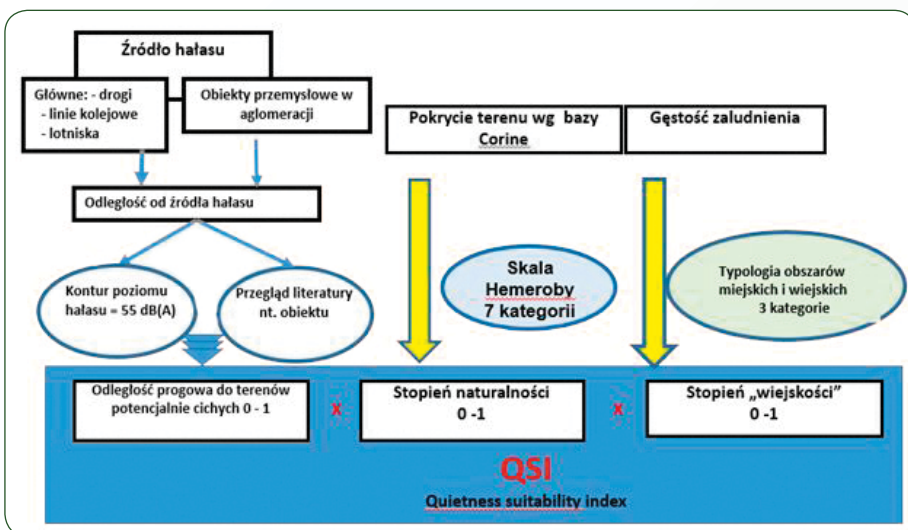
W ostatnich latach publikacje EEA zmierzają do określenia zasad wyznaczania pomieszczeń i terenów zapewniających regenerację i rekreację organizmu, również sytuowanych poza miejscem pracy, np. w środkach transportu, hałaśliwym mieszkaniu itp. [5,6,14,16]. Wyznaczenie takich miejsc jest procesem bardzo złożonym. Działania zaczyna się od badań ankietowych zainteresowanej grupy osób. Początkowo od respondentów wymaga się wskazania miejsc uznawanych przez konkretną osobę za korzystne akustycznie w określonym promieniu od budynku, osiedla itp. [3, 4, 11, 14].

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na wyraz „korzystne”, który nie jest synonimem słowa „ciche”. Autorzy takich badań podkreślają znaczenie wyjaśnienia i zrozumienia celu ankiety, która ma wskazać miejsca (tereny, obiekty), w których respondent czuje się dobrze i określa te miejsca jako „zapewniające komfort akustyczny”. Prowadzenie takich badań jest często utrudnione



Rys. 2. Schemat położenia cichej fasady i cichego terenu [29]

Fig. 2. Diagram of the location of a silent facade and silent terrain [29]



Rys. 3. Algorytm wyznaczania wskaźnika QSI [11] (tłumaczenie własne)

Fig. 3. QSI indicator's determination scheme [11] (Author's translation)

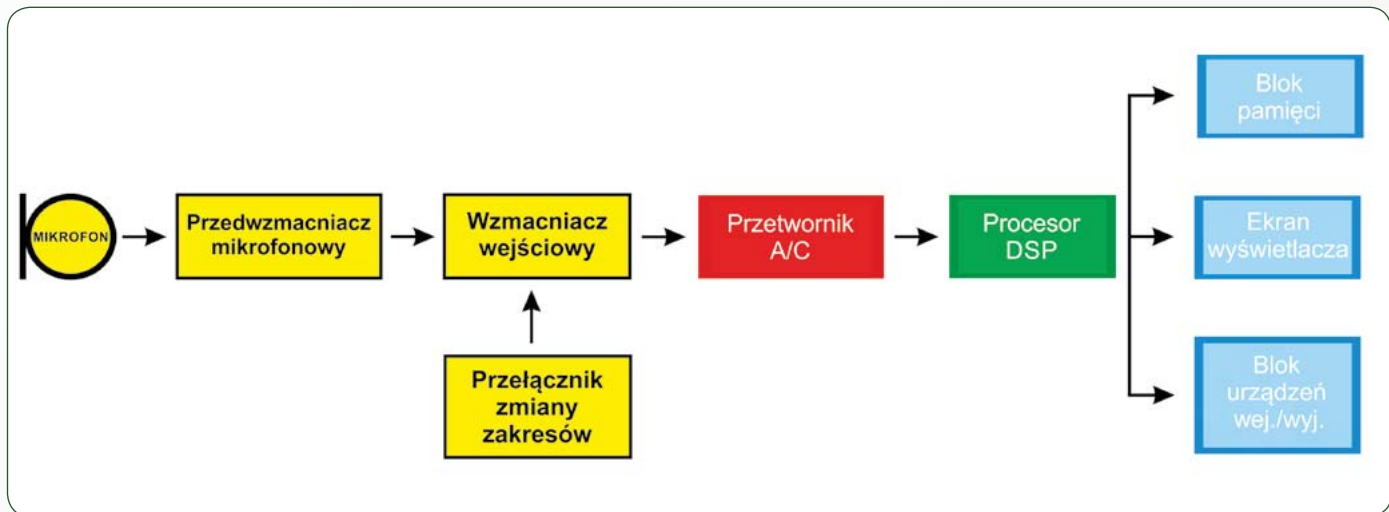
przez masowe rozpowszechnienie się mobilnych urządzeń audiomedialnych, zwłaszcza wśród młodzieży, które powoduje częste fałszowanie wyników [15, 16, 19].

W 2010 r. EAA spowodowała uruchomienie w ramach programu badawczego LIVE+ projektu o akronimie QSIDE (*The positive effects of quiet facades and quiet urban areas on traffic noise annoyance and sleep disturbance – Pozytywne efekty cichych fasad i cichych obszarów miejskich dla narażonych na hałas ruchu drogowego i zaburzenia snu*). Raport z tych badań, opublikowany w 2013 r., proponuje zasady wyznaczania obiektów i terenów o korzystnym klimacie akustycznym w dwóch grupach: ciche fasady budynków i ciche tereny. Na rys. 2. pokazano schematycznie proponowane podejście do tego zagadnienia. Spokojne/ciche fasady to zewnętrzne powierzchnie ścian budynków maksymalnie oddalonych od źródeł hałasu (np. ruchliwa ulica), przy których poziom dźwięku A nie przekracza 45-50 dB, natomiast ciche tereny, to obszar, na których poziom dźwięku A jest niższy od 45-55 dB [15].

Przytoczone wartości SPL są kompromisem potrzeb (regeneracja i rekreacja) i możliwości tworzenia obiektów i obszarów akustycznie bezpiecznych, wyznaczonych na podstawie szeroko zakrojonych badań ankietowych w sześciu dużych miastach krajów UE [14, 20, 21]. Obiekty te były najpierw wskazane przez respondentów jako miejsca spełniające wymagania komfortu

akustycznego, a następnie, po wykonaniu tam pomiarów i uśrednieniu wyników, określono najniższe wartości poziomów hałasu w każdej z wymienionych grup. Wykazy spełniających te wymagania terenów (obiektów) przekazuje się władzom samorządów miejskich i, po ich akceptacji, zostają one oznakowane i otoczone szczególną ochroną zarówno służb porządkowych, jak i przebywających tam mieszkańców. Autorzy cytowanego raportu wskazują na celowość dotychczasowego wykorzystania możliwych do osiągnięcia wrażeń wzrokowych przez zagospodarowanie przestrzeni, np. o zieleni, płynącą wodę itp. Podkreślono, że takie działanie może podwyższyć nieco (3-5 dB) tolerowalne poziomy hałasu.

EEA w 2014 r. opublikowała przewodnik pt. „Good practice guide on quiet areas” [11]. Zawarto w nim wiele istotnych zaleceń, dotyczących wyznaczenia stref (obszarów/terenów) o korzystnym dla ludzi klimacie akustycznym, zwłaszcza w dużych miastach. Na szczególną uwagę zasługuje ciekawa i oryginalna koncepcja metody ilościowego wartościowania terenu. Wprowadzono w niej wskaźnik QSI (ang. *Quietness Suitability Index*; autor proponuje rozważenie polskiej nazwy „jakość akustyczna terenu”), którego wartość zawiera się w przedziale 0-1 [5, 11, 14]. Ma on wskazywać zarówno aktualny stan akustyczny ocenianego terenu, jak i przydatność do tworzenia bezpiecznej akustycznie oazy spokoju. Algorytm wyznaczenia wskaźnika QSI przedstawiono na rys. 3.



Rys. 4. Schemat blokowy nowoczesnego miernika poziomu dźwięku

Fig. 4. Block diagram of a modern sound level meter

Górna część rysunku obejmuje źródła danych wejściowych, natomiast dolna pokazuje obliczenie wskaźnika QSI jako iloczynu trzech czynników: odległości brzegu ocenianego terenu od konturu granicznego, określającego poziom hałasu 55 dB; tzw. stopnia naturalności (ang. *naturalness*) oraz poziomu „wiejskości” (ang. *ruralness*) ocenianego terenu. Szczegóły postępowania opisano w cytowanym przewodniku. Mimo że od daty zapropionowania metody wskaźnika QSI mija prawie 5 lat, to rozpowszechnienie tego podejścia jest niewielkie. Na szeroką skalę zastosowano je jedynie w Irlandii, obejmując cały kraj [6, 16]. Na tej podstawie określono tereny o podobnych lub identycznych wartościach wskaźnika QSI i tą drogą wskazano tereny bezpieczne akustycznie w całym kraju, ze szczególnym uwzględnieniem otoczenia dużych miast. Małe rozpowszechnienie tej metody może wynikać z bardzo skomplikowanego sposobu postępowania przy wyznaczaniu dwóch składników, tj. stopnia naturalności i stopnia „wiejskości”.

Oprócz zagadnień związanych z regeneracją organizmu oraz rekreacją, w omawianym zakresie poziomów hałasu mieszczą się prace dotyczące dynamicznie rozwijanych badań ekologicznych, polegających na ilościowej ocenie zmian w środowisku poprzez pomiary sygnałów akustycznych na badanym terenie [22, 23]. Rozwijane przede wszystkim w USA w Purdue University badania polegają na jednoczesnych, wielopunktowych pomiarach dźwięków otoczenia w określonych odstępach czasu. Na podstawie wieloprzekrojowych analiz uzyskiwanych danych pomiarowych ocenia się zmiany zachodzące w środowisku. Tworzy to działania objęte pojęciem badań horyzontów akustycznych. W licznych publikacjach wykazano szczególną przydatność tych metod do oceny jakości działań remediacyjno-naprawczych środowiska.

Warto w tym miejscu wspomnieć o szybko rozwijającej się technice rekreacji, a nawet leczenia dźwiękowego, określonej pojęciem ASMR (ang. *Autonomous Sensory Meridian Response*),

tłumaczonym jako „autonomiczna odpowiedź sensoryczna”. Polega ona na wywołaniu uczucia relaksu i dobrego samopoczucia podczas słuchania indywidualnie dobranych cichych dźwięków, takich jak szept, delikatne przesuwanie palcem po szczotce, czy ciche pocieranie papieru lub folii metalowej itp.

Pomiary akustyczne w omawianym przedziale wartości poziomów ciśnienia akustycznego

Pomiary parametrów hałasu w omawianym w tym rozdziale zakresie poziomów SPL, w jego górnej części (ok. 40-60 dB), praktycznie nie różnią się od zasad obowiązujących w pierwszym zakresie. W dolnej części tego zakresu następuje jednak istotna zmiana. Dużego znaczenia nabiera wpływ zewnętrznych zakłóceń akustycznych, a także akustyczno-elektrycznych zakłóceń wewnętrznych aparatury pomiarowej [24]. Źródłami zakłóceń zewnętrznych są przede wszystkim zjawiska meteorologiczne (wiatr, opady atmosferyczne, zmiany temperatury) oraz przypadkowe sygnały dźwiękowe z otoczenia punktu pomiarowego, maskujące mierzony sygnał hałasu środowiskowego. Szczególnie istotny jest wiatr, który po przekroczeniu prędkości $v \geq 5$ m/s praktycznie uniemożliwia poprawne prowadzenie pomiarów hałasu w terenie otwartym. Już w pobliżu tej prędkości wymagane jest stosowanie na mikrofonach pomiarowych specjalnych osłon, a także odpowiednie ich lokalizowanie [20, 25].

W dolnej części tego zakresu (poniżej 30 dB) na dokładność pomiarów wpływają istotnie wewnętrzne szумы akustyczno-elektryczne aparatury pomiarowej.

Schemat blokowy typowego miernika (np. sonometru) poziomu ciśnienia akustycznego przedstawiono na rys. 4. W torze pomiarowym można wyróżnić część analogową (mikrofon, przedwzmacniacz mikrofonowy, wzmacniacz wejściowy z przełącznikiem zakresów pomiarowych) oraz część cyfrową (procesor DSP, bloki pamięci, wyświetlacze wyników pomiaru oraz

urządzenia dodatkowe wejściowe/wyjściowe). Wymienione dwie części toru łączy przetwornik A/C, realizujący konwersję sygnału analogowego na cyfrowy. Źródłem wewnętrznych zakłóceń (szumów własnych) jest przede wszystkim część analogowa przyrządu. Przy zwiększaniu czułości (przy pomiarze małych poziomów SPL) trzeba stosować większe wzmocnienia wzmacniaczy, które jednocześnie powodują wzmocnienie szumów własnych mikrofonu i samych wzmacniaczy, dodających się do sygnału (hałasu) mierzzonego.

Według producentów, ze znaczącymi błędami, wykazywanymi przez aparaturę, trzeba się liczyć poniżej poziomów dźwięku A około 30 dB. W celu zmniejszenia wpływu szumów aparaturowych zalecane jest stosowanie specjalnych, niskoszumowych mikrofonów oraz przedwzmacniaczy. Zastosowanie tych rozwiązań umożliwia wykonywanie pomiarów akustycznych w dół, do około 15 dB (błąd pomiarowy wynosi ± 4 dB). Należy tu podkreślić znaczenie i wpływ samego operatora wykonującego pomiary, który przy niskich poziomach mierzzonego hałasu staje się znaczącym źródłem zakłóceń zewnętrznych.

Zakres poziomów ciśnienia akustycznego – poniżej $L_A \leq 20$ dB

Kolejny zakres poziomów ciśnienia akustycznego obejmuje pola akustyczne wytwarzane przez urządzenia audiometryczne, aparaty słuchowe (słuchawki muzyczne, implanty ślimakowe), oraz tło dźwiękowe w większych obiektach kubaturowych, takich jak studia radiowe, muzyczne i specjalne konstrukcje badawcze, którymi są komory bezehowe, a także otoczenie, w których te urządzenia i obiekty się znajdują.

Pierwsza grupa urządzeń to słuchawki: nauszne (zewnętrzne), albo douszne (wprowadzane do kanału ucha zewnętrznego). Objętość przestrzeni między membraną nadawczą a błoną bębenkową jest rzędu pojedynczych cm^3 , stąd wpływ zakłóceń jest zdecydowanie mniejszy

i zwykle pomiary można wykonywać w cichszych pomieszczeniach. Znaczącym ułatwieniem pomiarów słuchawkowych pól akustycznych było pojawienie się na rynku subminiaturowych mikrofonów, umożliwiających umieszczenie ich bezpośrednio w kanale słuchowym ucha zewnętrznego, co umożliwiło pomiar poziomu ciśnienia akustycznego prawie przy powierzchni błony bębenkowej. Mikrofony wewnętrzne stosowane są między innymi w nowej metodzie diagnostyki słuchu tzw. emisji otoakustycznej, polegającej na nadawaniu do kanału usznego krótkiego sygnału dźwiękowego (wzbudzenia) i odbiorze mikrofonem sygnałów akustycznych emitowanych przez ucho wewnętrzne (ślimak). Emitowane, po wzbudzeniu, impulsy (trzaski), odbierane przez mikrofon wewnętrzny, są automatycznie analizowane (w układzie czas – amplituda – częstotliwość repetycji itp.) i dostarczają informacji diagnostycznych o stanie ślimaka (pozwalają na wykrycie niedosłuchu odbiorczego pochodzenia ślimakowego), [26-29].

Pomiary niskich poziomów ciśnienia akustycznego wykonuje się na ogół w pomieszczeniach, co eliminuje czynnik zakłóceń zewnętrznych, czyli wiatr, ale pojawiają się inne, tj. szumy instalacyjne, klimatyzacja elektryczna, czy instalacje oświetleniowe itp. Większość z nich może być jednak wyłączona na czas pomiaru (chyba że wymienione źródła hałasu są obiektami pomiarów).

Do pomiarów niskich poziomów ciśnienia akustycznego stosuje się metody korelacyjne przy zastosowaniu specjalnych sond mikrofonowych jako układów wejściowych [24]. Sonda składa się z dwóch identycznych mikrofonów, umieszczonych membranami blisko siebie (w odległościach milimetrowych). Dwukanałowy tor pomiarowy pozwala na obliczenie funkcji korelacji wzajemnej tych dwóch niezależnych sygnałów i tą drogą uzyskuje się eliminację wewnętrznych szumów aparatury (sygnały szumowe jako nieskorelowane zostają wyeliminowane). W różnych opisach aparatury pomiarowej podawane są informacje o możliwości pomiaru poniżej (minus) – 20 dB (tj. ciśnienia akustycznego $\approx 1 \mu\text{Pa}$), [30].

W wielu przypadkach, nawet w pomieszczeniach uważanych za ciche, poziom tła akustycznego (zakłóceń zewnętrznych) jest za wysoki, a w przypadku pomiarów w polu otwartym istnienie fal odbitych od powierzchni ograniczających pomieszczenie może wręcz uniemożliwić ich wykonanie. Pomiary prowadzi się wtedy w specjalnych komorach o dużej izolacyjności ścian i poprzez zastosowanie odpowiednio ukształtowanych powierzchni (najczęściej są to prefabrykowane kliny z materiałów o maksymalnie wysokim współczynniku pochłaniania dźwięku) eliminuje się fale odbite. Konstrukcje takie tworzą tzw. akustyczne komory bezchowe (ang. *anechoic chamber*), [31].

Podsumowanie

W artykule ograniczono się do omówienia zagadnień dotyczących dwóch zakresów poziomów ciśnienia akustycznego, nieobjętego

normami hałasu na stanowiskach pracy. Zastosowano tu tzw. podejście hedoniczne, czyli ocenę i analizę zmierzających do zapewnienia warunków odczuwanego komfortu, rekreacji, relaksu, które powinny prowadzić do regeneracji organizmów (zwłaszcza narządu słuchu) ludzi po narażeniu na działanie hałasu w miejscu pracy [32]. Wykazano, że warunki w środowiskach poza pracą często są dalekie od oczekiwanych i zalecanych, bo także w tych zakresach hałas jest jednym z najpowszechniejszych obciążeń miejsc przebywania ludzi.

Trudności w kształtowaniu jakości klimatu akustycznego omówionych dwóch zakresów poziomów hałasu są następstwem niezwykłej różnorodności form spędzania czasu (życia) poza pracą, a to nakłada się na podobnie zróżnicowane formy i składniki tworzące środowisko lokalne. Próby krajowych i międzynarodowych organizacji zajmujących się środowiskiem, z wymienionych przyczyn (różnorodności), polegają na wynajdywaniu możliwych, w konkretnych warunkach, kompromisów (zdrowotnych, demograficznych, technicznych, a niestety także często politycznych) i wydawania bardziej lub mniej trafionych norm i przepisów.

Cytowane opracowania WHO i EEA są w ostatnich latach ukierunkowane na coraz głębsze uwzględnianie wielorakich czynników ekonomicznych, decydujących coraz częściej o sposobach i metodach kształtowania środowisk akustycznych. Jedną z takich metod jest wpływanie na kształtowanie różnorodnych cen (np. mieszkań, terenów budowlanych, kosztów pobytu w miejscowościach wypoczynkowych itp.) w zależności od stanu środowiska, w tym klimatu akustycznego. Jest to jednak oddzielne, bardzo szerokie zagadnienie, oczekujące w naszym kraju na podjęcie i dogłębne rozpracowanie.

BIBLIOGRAFIA

[1] WSZOŁEK, T. Modelowanie zjawisk wibroakustycznych w systemach przesyłowych najwyższych napięć. [Modelling vibroacoustic phenomena in transmission systems of the highest voltages] Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu w 2013 r., seria wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji – Studia i Rozprawy.

[2] MAKAREWICZ, R., GOŁĘBIEWSKI, R. Amplitude modulation of wind turbine noise. *International Journal of Aeroacoustics* 2015.

[3] BROWN, A. L. Areas of high acoustic quality: soundscape planning mat. *ICSV 14*, 2007.

[4] BROWN L. Rethinking “Quiet Areas” as “Areas of High Acoustic Quality”; *Mat. INTER-NOISE 2006* 3-6 Dec. 2006.

[5] Dokument EEA. *Environmental Noise Guidelines for the European Region* 2018.

[6] Dokument EEA *Noise fact sheets 2017*. Wyd. EEA Page/Environment and health.

[7] Dokument WHO. *Environmental Noise Guidelines*. WHO 2018.

[8] BERGLUND, B., LINDVALL, T., SCHWELA, D.H. World Health Organization. *Guidelines for Community Noise*. WHO, Geneva 1999.

[9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku *Dz.U.* z 8.10.2012 poz. 1109 (t.j. obwieszczenie *Dz.U.* 2014, poz. 112).

[10] Dokument WHO. KIM, R. Burden of Disease from Environmental Noise, WHO 2011.

[11] Dokument EEA. *Good practice guide on quiet areas*. EEA Technical report 4, 2014.

[12] KURZON, D. *Discourse of Silence*. Wyd. J. B. Publ. Co 1997.

[13] LIPOWCZAN, A. Normalizacyjne uwarunkowania oceny hałasu w środowisku [Standardization conditioning of noise assessment in environment] *Z.N. WSZOP 2018,14,1* Katowice.

[14] Dokument EEA. *Noise in Europe 2014*. Wyd. EEA Report 10, 2014.

[15] SALOMONS, E., ÖGREN, M., VAN DEN BERG, F., SCHOONEBEEK, C., HILLEBREGT, M., KNAPE M., GIDLÖF-GUNNARSSON, A. *QSIDE Quiet places in cities Quiet façades and quiet areas in urban noise policy. Recommendations and examples*. Project funded by the European Commission, LIFE09 ENV/NL/000423.

[16] Dokument EEA. *Quiet areas in Europe The environment unaffected by noise pollution*; EEA Report 14, 2016.

[17] KOMPAŁA, J., LIPOWCZAN, A. *Quantitative Analysis of Road Noise for Excessive Urban Area for Example Katowice Voivodeship*. *Proc. of Noise control 98* Krynica 2-4.06.1998.

[18] WILLIAMS, W. *Hearing and leisure noise*; *Mat. AAS Acoustics Hunter Valey*, 2015.

[19] DARBYSHIRE, J.L., YOUNG, J.D. An investigation of sound levels on intensive care units with reference to the WHO guidelines. *Wyd. BioMed Central Ltd unless otherwise stated*. Part of Springer Nature, 2018.

[20] KAŻMIERCZAK, J., LIPOWCZAN, A., SAŚIEDZKI, P. *Network-based system for acoustic mapping of urban areas*. *Proc. of ERSA 2002, Dortmund/Germany, August 2002*.

[21] KOMPAŁA, J., LIPOWCZAN, A. *Preparation of the acoustic map of upper Silesia into account road traffic noise*. *Proc. of International EEA/EEAA Symp. „Transport noise and vibration” Tallinn 8.06.-10.06.98*.

[22] PIJANOWSKI, B.C., LUIS, J.VA-RIVERA, V., DUMYAHN, S.L., FARINA, A., BERNIE, L., KRAUSE NAPOLETANO, B.M., GAGE S.H., and PIERETTI, N. *Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape*. *BioScience* March 61,3, 2011.

[23] ROSS, J. *Quietest place on Earth’ finds purpose in healing humans*. *Star Tribune* 10, 2017.

[24] ELLINGSONA, R.M., GALLUN, F.J. *Measurement with verification of stationary signals and noise in extremely quiet environments: Measuring below the noise floor*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2015,137,3.

[25] KOMPAŁA, J., LIPOWCZAN, A. *Quantitative Analysis of Road Noise for Excessive Urban Area for Example Katowice Voivodeship* *Proc. of Noise control 98* Krynica 2-4.06.1998.

[26] BUKI, B., de KLEINE, E., WIT, H.P., AVAN, P. *Detection of intracochlear and intracranial pressure changes with otoacoustic emissions: A gerbil model*. *Hear. Res.*, 167, 2002.

[27] PADDEN, C., HUMPHRIES, T. *Deaf in America, Voices from a Culture*. *Harvard Univ. Press Cambridge, Mass. London*, 1988.

[28] SHETH, K.N., HORTON, N., SHERA, Ch., ROSAND J., VOSS, S. *Detecting Changes in Intracranial Pressure Non-Invasively Using Oto-Acoustic Emissions*; prezentacja: Department of Neurology, Massachusetts General Hospital & Harvard Medical School, ICP Poster SEV 2.

[29] VOSS, S.E., HORTON, N.J., TABUCCHI, T.H.P., FOLOWOSELE, F., SHERA, C.A. *Auditory-based detection of changes in intracranial pressure: Distortion-product otoacoustic emissions measurements Neurocritical Care*, 4, 2006.

[30] BJOR, O.H. *Measurement of Extremely Low Sound Pressure Levels*. *Norsonic Application Note AN Low-noise mic. Ed.1. Rev.0 ENGLISH 04.99*.

[31] ZBROWSKI, A., MEŻYK, J., GIESKO, T. *System for automated acoustic measurements in the anechoic chamber*. *Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems* 3, 2010.

[32] WIDŁAK, M., TOMCZYK, E. *Hedoniczne indeksy cen mieszkań dla Warszawy. [Hedonic indexes of apartment prices in Warsaw]* *Finansowanie Nieruchomości* 3, 2010.