

Wpływ zjawiska maskowania na odczucie uciążliwości sygnałów impulsowych

Fot. Ksander/Bigstockphot



Celem artykułu jest zbadanie typowych przykładów źródeł hałasu impulsowego generowanego w polu swobodnym oraz podjęcie próby określenia obiektywnego kryterium oceny poziomu tła akustycznego, przy którym dźwięk impulsowy przestaje być głównym źródłem uciążliwości akustycznej. Analizę uzupełniają wyniki testów odsłuchowych, polegających na subiektywnej ocenie uciążliwości akustycznej oraz ocenie skuteczności maskowania szumem badanych sygnałów.

Słowa kluczowe: hałas impulsowy, maskowanie dźwięku, uciążliwość akustyczna, impulsowość

Influence of the sound masking on the feeling of annoyance for impulsive signals

The aim of the paper was to investigate the common examples of impulsive noise sources and an attempt to determine an objective criterion for assessing the level of background noise, at which the impulsive sounds are no longer a major source of acoustic nuisance.

The analysis was complemented by the results of the listening tests, consisting of subjective assessment of sound annoyance and assessing the effectiveness of the masking the impulsive signals with a few examples of the noise.

Keywords: impulsive noise, sound masking, acoustic annoyance, impulsiveness

Wstęp

Hałas, czyli szereg dźwięków niepożądanych, nieprzyjemnych, uciążliwych, a przede wszystkim szkodliwych, otacza nas ze wszystkich stron każdego dnia [1]. Niezwykle wiąże się z tym uciążliwość akustyczna, czyli poczucie dyskomfortu wywołanego przez negatywne bodźce dźwiękowe. Jednym z przykładów krótkotrwałego, lecz bardzo uciążliwego hałasu, jest hałas o charakterze impulsowym.

Najistotniejszym zagrożeniem dla człowieka związanym z dźwiękami impulsowymi jest ryzyko uszkodzenia słuchu. Rośnie ono wraz z mocą źródła, a maleje ze wzrostem odległości pomiędzy osobą a źródłem. Nie bez znaczenia jest także droga propagacji dźwięku, gdzie fala akustyczna może podlegać zarówno rozproszeniu, jak i tłumieniu. Jeśli wartości charakteryzujące hałas nie przekraczają poziomów dopuszczalnych, subiektywnym kryterium jego oceny staje się uciążliwość.

Ze względu na swoją naturę dźwięki impulsowe zazwyczaj są dobrze rozpoznawalne przez człowieka. Pewna część impulsów przestaje być jednak zauważalna w sytuacji, w której wiele źródeł hałasu dociera do naszych uszu jednocześnie – co w psychoakustyce nazywane jest zjawiskiem maskowania.

W artykule omówiono aktualny podział źródeł dźwięków impulsowych oraz przedstawiono przebieg i wyniki badań eksperymentalnych dotyczących subiektywnej oceny uciążliwości tych dźwięków w obecności różnego rodzaju dźwięków maskujących.

Parametry i źródła hałasu impulsowego

Dźwiękami impulsowymi nazywamy zdarzenia akustyczne cechujące się wysokim poziomem ciśnienia akustycznego, trwające bardzo krótko, nierzadko rzędu tysięcznych części sekundy. O hałasie impulsowym mówimy wówczas, gdy może on być powodem uciążliwości akustycznej

[2] i/lub stanowi realne zagrożenie uszkodzenia słuchu pracowników, wykonujących swoje zadania w warunkach nierzadko wymagających indywidualnych środków ochrony słuchu [3,4].

Problem ekspozycji na hałas impulsowy oraz podstawowe regulacje w dziedzinie ochrony pracowników przed hałasem zamieszczone są w rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej, w którym zdefiniowano następujące parametry [5]:

- $L_{A,max}$ – maksymalny poziom dźwięku A, dB
- $L_{C,peak}$ – szczytowy poziom dźwięku C, dB
- $L_{EX,8h}$ – poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, dB.

W odniesieniu do każdego z wymienionych parametrów określone zostały tzw. najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN). Dodatkowo, kolejne rozporządzenie określa wartości progów działania, tj. takich poziomów hałasu, po przekroczeniu których pracodawca powinien wdrożyć procedurę zapewniającą ochronę

Tabela 1. Najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN) wraz z wartościami progów działania
Table 1. Threshold Limit Values (TLV) with the action threshold values

Parametr	NDN, dB	Próg działania, dB
$L_{A,max}$	115	-
$L_{C,peak}$	135	135
$L_{EX,8h}$	85	80

Tabela 2. Parametry analizowanych sygnałów impulsowych zarejestrowanych w polu swobodnym
Table 2. Parameters of analyzed impulsive signals

	L _{Amax} [dB]	L _{Cpeak} [dB]	Czas trwania [s]
Pękający balon	90	114,3	0,0505
Uderzenie metalu o metal	96,4	117,5	0,0638
Wystrzał z pistoletu	114,6	140,1	0,0491

słuchu narażonych pracowników np. poprzez stosowanie indywidualnych środków ochrony przed hałasem [6]. Wartości NDN oraz poziomy progów działania podano w tabeli 1. Szacuje się, że bezwzględne przestrzeganie dopuszczalnych poziomów hałasu (tj. praca poniżej NDN) powinno uchronić średnią populację pracowników przed ubytkiem w słyszeniu powyżej 2 dB po 40 latach pracy w hałasie [7].

Mimo że tematyka dźwięków impulsowych poruszana jest w literaturze od dziesięcioleci, nadal nie ma zgody w kwestii algorytmów, które umożliwiłyby klasyfikację impulsów w sposób obiektywny. Algorytm taki, bazując na parametrach fizycznych sygnałów byłby podstawą do prawidłowego rozpoznania typu źródła hałasu impulsowego, a jest to potrzebne m.in. ze względu na konieczność stosowania poprawki impulsowej w ocenie hałasu środowiskowego, np. długoterminowych wskaźników hałasu. Zgodnie z serią norm ISO 1996 [8-9], wartość takiej poprawki waha się między 5 a 12 dB. Zaprezentowany na rys. 1. podział źródeł hałasu impulsowego jest wynikiem kompromisu między różnymi koncepcjami. Wyróżnia on źródła wysokoenergetyczne, wysokoimpulsowe oraz typowe, czyli takie, których niska uciążliwość nie pozwala na przypisanie ich do żadnej z dwóch pierwszych kategorii. Z uwagi na dużą subiektywność w kwalifikowaniu danego impulsu do konkretnej kategorii, konieczne jest kompleksowe podejście do zagadnienia rozpoznania źródeł i charakterystycznych cech sygnału impulsowego.

Maskowanie dźwięków impulsowych

Problemy związane z pojęciem maskowania dźwięków to jedno z wielu zagadnień psychoakustyki, czyli nauki badającej m.in. subiektywne reakcje człowieka na bodźce dźwiękowe [10]. Samo maskowanie określa się najczęściej jako proces, w efekcie którego próg słyszenia dźwięku (maskowanego) jest wyższy w wyniku obecności innego dźwięku (maskera) lub grupy dźwięków [11,12].

Z uwagi na różne rodzaje sygnałów i maskerów wyróżnia się wiele rodzajów maskowania. Ze względu na zależności czasowe występowania obu sygnałów, maskowanie dzieli się najczęściej na równoczesne – gdy sygnał maskowany występuje równoległe z maskerem – oraz na maskowanie nierównoczesne, gdzie sygnał maskowany występuje chwilę przed lub zaraz po usłyszeniu maskera.

W zależności od potrzeb i sytuacji maskery dobiera się tak, by były użyteczne w kontekście postawionych celów badawczych (np. tony, wie-

PODZIAŁ ŹRÓDEŁ HAŁASU IMPULSOWEGO		
Źródła wysokoenergetycznego hałasu impulsowego	Źródła hałasu wysokoimpulsowego	Źródła typowego hałasu impulsowego
Wybuch odpowiadający równoważnej masie trotylu większej niż 50 gramów	Młotkowanie drewna lub metalu	Bicie dzwonów kościelnych i alarmowych
Dźwiękowe fale uderzeniowe	Młot pneumatyczny, młot spadowy	Gra w piłkę na powietrzu
Detonacje i eksplozje w kopalniach lub kamieniołomach	Wystrzały z broni strzeleckiej	Trzaskanie drzwiami samochodowymi
Pociski broni panczernej i artyleryjskiej	Przejazdy pociągów np. poprzez rozjazdy kolejowe	Tłuczone szkło, klakson, klaśniecie
Inne o zbliżonej energii i wysokiej uciążliwości	Dowolne inne o impulsowej charakterystyce i znacznej uciążliwości	Inne impulsowe o niskiej uciążliwości

Rys. 1. Źródła hałasu impulsowego wraz z typowymi przykładami [8,9]

Fig. 1. Impulsive noise sources with typical examples [8,9]

lotony, szum biały¹). Jednakże często funkcję maskującą pełnią dźwięki w naturalnym otoczeniu. I tak, w warunkach drogowych maskerem będzie szum przejeżdżających samochodów, natomiast w warunkach pracy może to być np. hałas generowany przez maszyny i urządzenia.

Jak wspomniano, dźwięki impulsowe to zjawiska o bardzo krótkim czasie trwania. Ze względu na ich charakter, bardzo trudnym zadaniem byłoby wykorzystanie zjawiska maskowania nierównoczesnego dźwięków impulsowych maskerami ciągłymi. W dalszej części artykułu przedstawiono przebieg i wyniki badań, których celem było określenie wpływu równoczesnego maskowania dźwięków impulsowych wybranymi maskerami ciągłymi na uciążliwość akustyczną odbieranych sygnałów.

Metodyka i opis badań

Aby określić wpływ poziomu maskowania na zjawisko uciążliwości akustycznej dla dźwięków impulsowych, przeprowadzono subiektywne testy odsłuchowe na grupie ponad 30 respondentów w wieku 19-65 lat. Badanie polegało na wysłuchaniu trzech różnych przykładów dźwięków impulsowych: pękającego balonu, wystrzału z pistoletu, uderzenia metalu o metal oraz wykonaniu trzech zadań: określeniu

słyszalności dźwięku impulsowego na tle sygnału maskującego, określeniu stopnia uciążliwości dźwięku impulsowego na tle sygnału maskującego oraz próbie subiektywnego przypisania słyszanego impulsu do jednej z trzech kategorii źródeł hałasu impulsowego. W tabeli 2. zamieszczono najważniejsze parametry akustyczne tych sygnałów wraz z czasem trwania w warunkach pola swobodnego. Impulsy te były maskowane kolejno szumem różowym², hałasem komunikacyjnym (nagranie ruchliwej ulicy) oraz hałasem przemysłowym (nagranie w pobliżu taśmy montażowej).

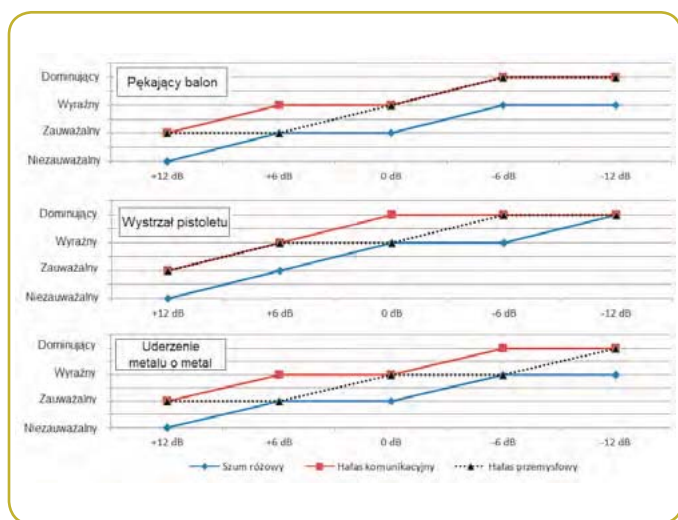
Wszystkie sygnały wykorzystane w badaniach zarejestrowano za pomocą rejestratora dźwięku Zoom H5, przy równoczesnej rejestracji poziomu ciśnienia akustycznego i wymienionych wcześniej parametrów za pomocą miernika poziomu dźwięku Svan 959 wraz z mikrofonem G.R.A.S. 46AE.

W odniesieniu do każdego z maskerów zaproponowano pięć poziomów głośności, odpowiadających pewnej wartości różnicy poziomów RMS³ między nagraniem impulsu a nagraniem maskera. Poziomy te wyniosły kolejno +12, +6, 0, -6, -12 dB, gdzie plus oznacza, że sygnał maskujący był głośniejszy od impulsu o 6 lub 12 dB.

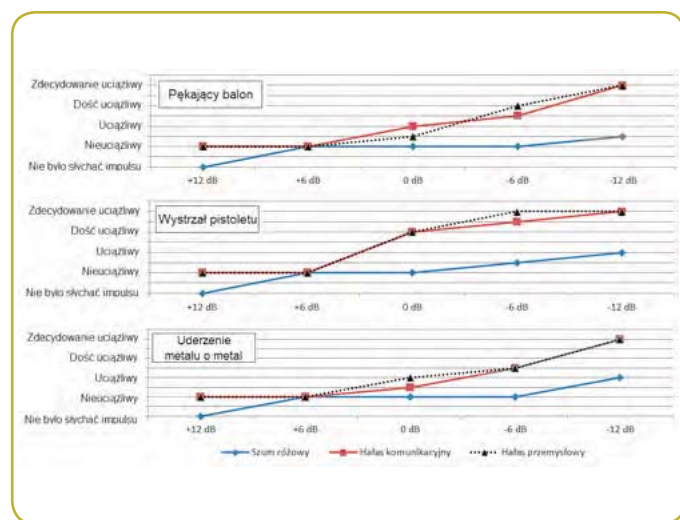
² Szum różowy (ang. *pink noise, one over f noise, flicker noise*) – jest to sygnał o widmie ciągłym, którego składowe wyrażone poziomem ciśnienia akustycznego, charakteryzują się wartościami malejącymi o 3 dB na każdą oktawę wzrostu częstotliwości [przyj.red].

³ *Root Mean Square* (dosł. pierwiastek średniokwadratowy) – inaczej: wartość skuteczna sygnału.

¹ Szum biały (ang. *white noise*) – jest to sygnał o widmie ciągłym, w którym składowe widma, wyrażone poziomem ciśnienia akustycznego, mają stałą wartość w całym paśmie częstotliwości [przyj.red].



Rys. 2. Słyszalność dźwięków impulsowych w zależności od poziomu maskowania
Fig. 2. Impulsive noise audibility according to sound masking level



Rys. 3. Uciążliwość dźwięków impulsowych w zależności od poziomu maskowania
Fig. 3. Impulsive noise annoyance according to sound masking level

Aby wykluczyć ryzyko uszkodzenia słuchu wśród słuchaczy, poziomy nagrań zostały dopasowane w taki sposób, by nie przekraczały poziomów niebezpiecznych.

Pierwszym problemem postawionym przed respondentami było określenie słyszalności dźwięku impulsowego na tle sygnału maskującego. Badani przypisywali każdorazowo jedną z czterech wartości: niezauważalny, zauważalny, wyraźny, dominujący.

Graficzne zestawienie najczęściej padających odpowiedzi (przynajmniej 50% głosów) dla każdego typu impulsu i maskera przedstawiono na rys. 2.

Spośród trzech rodzajów tła jedynie szum różowy wydaje się dobrze maskować dźwięki impulsowe. Widać to zwłaszcza w zakresie wysokiego poziomu maskowania, gdzie wszystkie impulsy zostały niezauważone przez znaczną większość słuchaczy (ok. 85-90%). Równocześnie, tylko w przypadku szumu różowego, przy różnicy poziomów 0 dB nie możemy mówić o wyraźnym „górowaniu” sygnału impulsowego nad sygnałem maskującym. Jako najlepiej słyszalny dźwięk impulsowy wskazano wystrzał z pistoletu.

Kolejnym krokiem było określenie stopnia uciążliwości dźwięku impulsowego na tle sygnału maskującego. Badani mieli do dyspozycji cztery stopnie dokuczliwości sygnału: nieuciążliwy, uciążliwy, dość uciążliwy i zdecydowanie uciążliwy. Możliwy był też wybór wariantu „nie było słychać impulsu”.

Najczęściej padające odpowiedzi pokazano na rys. 3. W trakcie tej części badania, z uwagi na dużą subiektywność w ocenie, otrzymano duży rozrzut wyników, rzędu 20-30% w odniesieniu do kilku pozycji, zwłaszcza w przypadku niskiego poziomu tła. Podobnie jak w części pierwszej, najbardziej uciążliwym dźwiękiem impulsowym jest wystrzał z pistoletu, jednakże w przypadkach, gdy sygnał maskujący jest dużo niższy od impulsu, każdy z trzech impulsów został odebrany jako zdecydowanie uciążliwy.

Ostatnim zadaniem była próba subiektywnego przypisania słyszanego impulsu do jednej z trzech kategorii źródeł hałasu impulsowego, wspomnianych wcześniej. Otrzymane wyniki pokazują, że w przypadku, gdy poziom RMS sygnału maskującego jest wyższy lub równy poziomowi RMS dźwięku impulsowego, wszystkie sygnały odbierane są raczej jako sygnały o niższej energii, niż sygnały wysokoenergetyczne, czy wysokoimpulsowe.

W przypadku uderzenia metalu o metal, niezależnie od poziomu i rodzaju maskera, badani wskazywali, że nie można tych dźwięków przypisać do żadnej z dwóch pierwszych kategorii źródeł hałasu impulsowego. Wystrzał z pistoletu grupa badanych określiła jako leżący na pograniczu wysokoenergetycznego dźwięku impulsowego i wysokoimpulsowego, natomiast pękający balon został oceniony głównie jako wysokoimpulsowy.

W przypadku wszystkich trzech dźwięków impulsowych rozbieżności w przypisaniu powiększają się wraz ze wzrostem różnicy między poziomem dźwięku impulsowego, a poziomem tła.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule wyniki badań subiektywnych dotyczących oceny źródeł hałasu o charakterze impulsowym wykazują, że poziom i rodzaj dźwięku otoczenia mają znaczący wpływ na odczucie uciążliwości akustycznej, wywołanej obecnością impulsów. W przypadku, gdy dźwięki te są silnie maskowane wysokim poziomem tła, identyfikacja impulsów może stanowić problem dla słuchacza.

Na odczucie uciążliwości ma wpływ nie tylko poziom sygnału maskującego, ale też i jego rodzaj. Sygnały impulsowe lepiej „giną” w szerokopasmowym szumie różowym niż na tle hałasu komunikacyjnego, czy przemysłowego, w których dominują składowe niskich i średnich pasm częstotliwości, tj. odpowiednio do 160 i 2000 Hz.

Przeprowadzone badania stanowią początek studium nad oceną uciążliwości akustycznej wywołanej ekspozycją na dźwięki impulsowe i mogą stanowić podstawę do dalszych badań uciążliwości sygnałów impulsowych metodami subiektywnymi, jak również mogą być punktem odniesienia dla badań nad obiektywnymi metodami klasyfikacji impulsów pod kątem uciążliwości.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Engel Z. *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001
- [2] Wszolek T. *Korekcja tonalna i impulsowa wskaźników hałasu w kwalifikacji jego źródła*. „Postępy Akustyki 2015”, Polskie Towarzystwo Akustyczne, Oddział Wrocław 2015
- [3] Młyński R., Kozłowski E. *Ocena ograniczenia hałasu impulsowego przez wkładki przeciwhałasowe podczas obróbki metalu*. „Medycyna Pracy” 2014, 65, 2:197–207
- [4] Engel Z., Zawieszka W. *Hałas i drgania w procesach pracy*. CIOP-PIB Warszawa 2010
- [5] *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. Dz. U. 2014 poz. 817
- [6] *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*. Dz. U. nr 157, poz. 1318
- [7] Hojan E. *Protetyka słuchu*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2014
- [8] PN-ISO 1996-1:2006 *Akustyka. Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 1. Wielkości podstawowe i procedury oceny*
- [9] PN-ISO 1996-2:1999/A1:2002 *Akustyka. Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 2. Zbieranie danych dotyczących sposobu zagospodarowania terenu (Zmiana A1)*
- [10] Kleczkowski P. *Percepcja dźwięku*. Wydawnictwo AGH, Kraków 2013
- [11] Moore B.C.J. *An Introduction to the Psychology of Hearing (6th ed.)*
- [12] Ozimek E. *Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań, 2002