

OCENA DOKUCZLIWOŚCI ODDZIAŁYWANIA ŹRÓDEŁ HAŁASU DROGOWEGO W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Waldemar PASZKOWSKI
Politechnika Śląska

WPROWADZENIE

Problem dokuczliwości hałasu oddziaływania źródeł w wielu przypadkach występuje nie tylko w miejscu zamieszkania, ale też w środowisku zewnętrznym i pracy. Wyniki badań oceny dokuczliwości oddziaływania źródeł hałasu np. [3, 5] ukierunkowane są od dłuższego czasu na powiązanie psychoakustycznych miar oceny jakości dźwięku ze wskaźnikami ilościowymi hałasu. Subiektywny aspekt postrzegania dźwięków jak i wielość czynników towarzyszących procesowi postrzegania powodują, że nie opracowano dotychczas jedynego i powszechnie stosowanego modelu oceny dokuczliwości hałasu. Stosowane podejścia do tej oceny ograniczają się najczęściej do postrzegania dźwięku w czasie w zmiennym układzie: źródło-droga propagacji-odbiornik, przy uwzględnieniu zmiennych cech subiektywnych i otoczenia zewnętrznego. W artykule podjęto próbę zastosowania metody analizy statystycznej w określeniu istotności wybranych zmiennych wejściowych do oceny dokuczliwości hałasu oddziaływania źródeł hałasu drogowego.

ZASTOSOWANIE METODY STATYSTYCZNEJ W OCENIE DOKUCZLIWOŚCI HAŁASU

W ramach przeprowadzonego eksperymentu w warunkach laboratoryjnych przeprowadzono ocenę dokuczliwości hałasu oddziaływania źródeł hałasu drogowego w środowisku zurbanizowanym. Podczas eksperymentu losowo emitowane były sygnały akustyczne z zarejestrowanych 30 próbek. Sygnały akustyczne emitowane były z dwóch głośników w systemie stereo. Zastosowano metodę skalowania ocen punktowych (co jeden) w zakresie od 1 do 5. W eksperymencie uczestniczyło 80 osób w wieku pomiędzy 22-50 lat.

Pozyskanie i wybór danych

Wybór metody oceny statystycznej zdeterminowany jest z jednej strony postacią zbiorów danych ilościowych i jakościowych, z drugiej strony możliwościami jej zastosowania. W ramach podjętych badań własnych nad dokuczliwością hałasu pozyskano i wygenerowano zbiory danych parametrów determinujących efekty oddziaływania źródeł hałasu drogowego. W szczególności, w ramach przeprowadzonych pomiarów w środowisku zurbanizowanym pozyskano następujące dane odpowiadające zdarzeniom akustycznym w czasie:

- zrównoważone wartości poziomów dźwięku L_{eqA} ,
- zarejestrowane przebiegi sygnałów akustycznych audio,
- rodzajów źródeł hałasu dla występujących zdarzeń akustycznych,

- rodzajów nawierzchni poruszających się źródeł hałasu.

W celu wyznaczenia miar oceny jakości dźwięku otrzymane przebiegi sygnałów audio wymagały zastosowania właściwych metod [1, 2] dla potrzeb przetwarzania i analizy danych. Podstawową, lecz nie jedyną psychoakustyczną miarą oceny dokuczliwości zmiennych w czasie dźwięków jest głośność zmienna w czasie, która jest miarą standaryzowaną (DIN 45631/A1:2010 – Zwicker method). Pozostałe stosowane miary takie jak: ostrość (S), tonalność są ustandaryzowane tylko dla sygnałów stacjonarnych. Dodatkowe miary tj. chropowatość (R) oraz siła fluktuacji (F) wyznaczane są w oparciu o przyjęte procedury, jednak nie są to miary znormalizowane. Wartości poszczególnych ww. miar wyznaczone zostały poprzez zastosowanie metod Zwicker i Aures [1, 2]. Zaproponowana ocena dokuczliwości hałasu [7] sprowadza się do wyznaczenia obiektywnej dokuczliwości (UBA). Formuła (UBA) stosowana jest w przypadkach oddziaływania różnych źródeł hałasu, np. [5], która w sposób zobiektywizowany reprezentuje związek subiektywnych miar jakości dźwięku. Obiektywna dokuczliwość zdefiniowana została jako kombinacja miar: ostrości, siły fluktuacji, poziomu głośności (N_{10} – dziesięcio percentylowa wartość) skorygowana porą dnia:

$$UBA = d(N_{10})^{1.3} \left[1 + 0.25 \cdot (S - 1) \lg(N_{10} + 10) + 0.3 \cdot F \left(\frac{1 + N_{10}}{N_{10} + 0.3} \right) \right] \quad (1)$$

gdzie:

$d = 1$ – dla pory pomiędzy 22:00-6:00,

$d = 1 + \left(\frac{N_{10}}{5} \right)^{0.5}$ – dla pory pomiędzy 6:00 do 22:00

Zaproponowana przez (5) skorygowana formuła UBA jako psychoakustyczna dokuczliwość (PA) stanowi kombinację głośności (N_5 – pięcio percentylowa wartość), siły fluktuacji oraz chropowatości – w odniesieniu do ostrości.

$$PA = N_5 (1 + \sqrt{w_s^2 + w_{FR}^2}) \quad (2)$$

$$\text{Dla } S > 1.75 \quad w_s = (S - 1.75) \cdot 0.25 \lg(N_5 + 10) \quad (3)$$

$$\text{Dla } S \leq 1.75 \quad w_{FR} = \frac{2.18}{N_5^{0.4}} (0.4F + 0.6R) \quad (4)$$

Po podstawieniu do (1, 2, 3, 4) w tabeli 1 zestawiono fragment zmiennych dla uporządkowanego zbioru próbek odpowiadającym badanym punktom pomiarowym. Zestawione dane ilościowe i jakościowe w tabeli 1 stanowią zbiór danych wejściowych do statystycznej oceny dokuczliwości hałasu. Zmienna oznaczona Zmn1 reprezentuje średnie wartości ocen dokuczliwości hałasu otrzymane z przeprowadzonego eksperymentu.

W tabeli 2 zamieszczono fragment statystycznych parametrów odpowiadających zmiennej Zmn1 i numeracji próbek.

Tabela 1 Fragment zmiennych wejściowych

Próbka	Zmienne wejściowe									
	Zmn1	Zmn2	Zmn3	Zmn4	Zmn5	Zmn6	Zmn7	Zmn8	Zmn9	Zmn10
sr. odp.	N	S	R	F	UBA	PA	r. źródła	naw.	LeqA	
1.	4,63	2,65	1,4	0	0,46	6,63	4,72	2os	bruk	56
2.	4,55	2,57	1,5	0,1	0,48	6,51	4,80	2os	bruk	56
3.	4,65	2,87	1,2	0	0,33	6,61	4,74	aut	bruk	56
4.	4,56	2,71	1,2	0	0,18	7,01	4,65	2os	bruk	56
5.	4,75	2,83	1,4	0	0,26	6,03	4,11	2os	bruk	56
6.	4,41	2,92	1,5	0	0,14	8,60	5,16	os	bruk	56
7.	3,83	4,66	1,3	0,1	0,3	13,54	7,86	2os	asfalt	62

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1, 2, 5]

Tabela 2 Fragment parametrów statystycznych dla Zmn1

Próbka	Mediana	Kurtoza	Odchylenie standardowe
1.	5	0,90	0,60
2.	5	0,07	0,61
3.	5	1,11	0,58
4.	5	2,23	0,65

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6]

Zastosowanie metody Anova

Idea analizy wariancji polega na porównywaniu rozproszenia zmiennej zależnej w badanych grupach wydzielonych ze względu na wartości zmiennych niezależnych. Analiza wariancji pozwala ocenić istotność efektów tj. wpływ jednej zmiennej niezależnej na jedną zmienną zależną oraz interakcję zmiennych niezależnych wywierających istotny wpływ na daną zmienną zależną. Ocena dokuczliwości przeprowadzona została przy wykorzystaniu metody Anova efektów głównych. Z badań nad zmiennymi o charakterze ilościowym mającymi wpływ na dokuczliwość hałasu wynika [3, 5], że poza zmiennymi psychoakustycznymi istotny wpływ ma nie tylko sama wartość $LeqA$, ale struktura jego kształtowania się w czasie. Do zmiennych zależnych zaliczono parametry oceny jakości dźwięku i uśrednione oceny badania dokuczliwości otrzymane z eksperymentu w warunkach laboratoryjnych. Przyjęto jako zmienne jakościowe (zmienne niezależne) tj. rodzaj źródła i rodzaj nawierzchni przy zastosowaniu metody Anova, które mają znaczenie nie tylko w procesie immisji hałasu, ale mają wpływ na rozkład widma. Przeprowadzono analizę wariancji dla trzech wariantów zmiennych zależnych i niezależnych (tabela 3). Zmienne niezależne rozpatrywane były dla następujących przypadków:

- rodzaj źródła: osobowy, 2 osobowe, autobus, co odpowiada; $r. \text{źródła} = \{os., 2os., aut.\}$
- nawierzchnia: asfalt, bruk i przypisano, co odpowiada; $naw. = \{bruk, asfalt\}$

Dla przyjętych wariantów zastosowano analizę wariancji efektów głównych i przeprowadzono wielowymiarowe testy istotności (test Wilksa) uwzględniające parametryzację z sigma ograniczeniami i dekompozycję efektywnych hipotez dla zmiennych niezależnych.

Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP
"Przekraczamy Granice"

Tabela 3 Podział zmiennych

Nr wariantu	Zmienne zależne	Zmienne niezależne
Wariant 1	N,S,R,F, LeqA	r.źródła, naw.
Wariant 2	sr._odp., LeqA	r.źródła, naw.
Wariant 3	UBA, PA, LeqA	r.źródła, naw.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

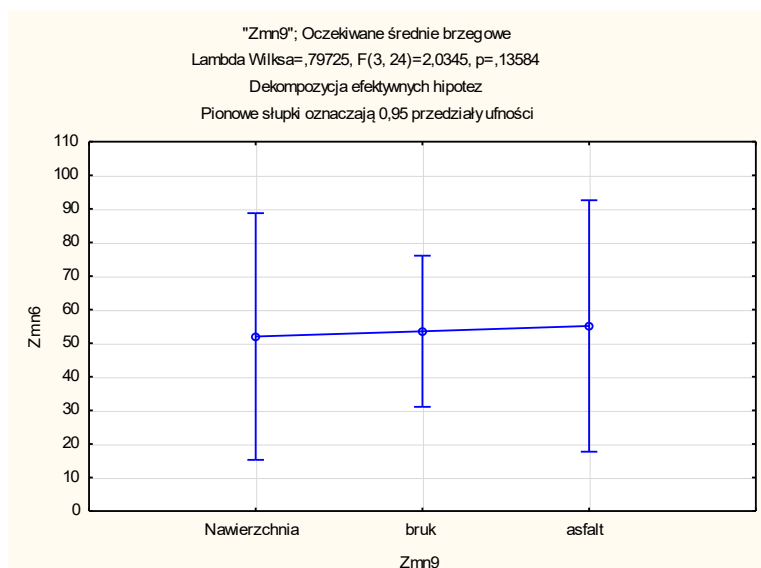
Z tabeli 4 wynika, że otrzymane wyniki testu F dla wariantów wariancji zmiennych niezależnych nie wykazują wysokiej istotności zróżnicowania średnich badanych grup.

Tabela 4 Wielowymiarowe testy istotności (dane wejściowe)

Nr wariantu	Zmienne	Wartość	F	Efekt df	Błąd df	p
Wariant 1	r. źródła	0,659	1,018	10	44	0,443
	naw	0,844	0,809	5	22	0,555
Wariant 2	r. źródła	0,781	1,643	4	50	0,177
	naw.	0,961	0,497	2	25	0,614
Wariant 3	r. źródła	0,731	1,351	6	48	0,253
	naw.	0,797	2,034	3	24	0,135

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Kształtowanie się zmiennej zależnej UBA względem zmiennej niezależnej nawierzchni nie wykazuje znaczących różnic związanych z rodzajem nawierzchni (rys. 1).

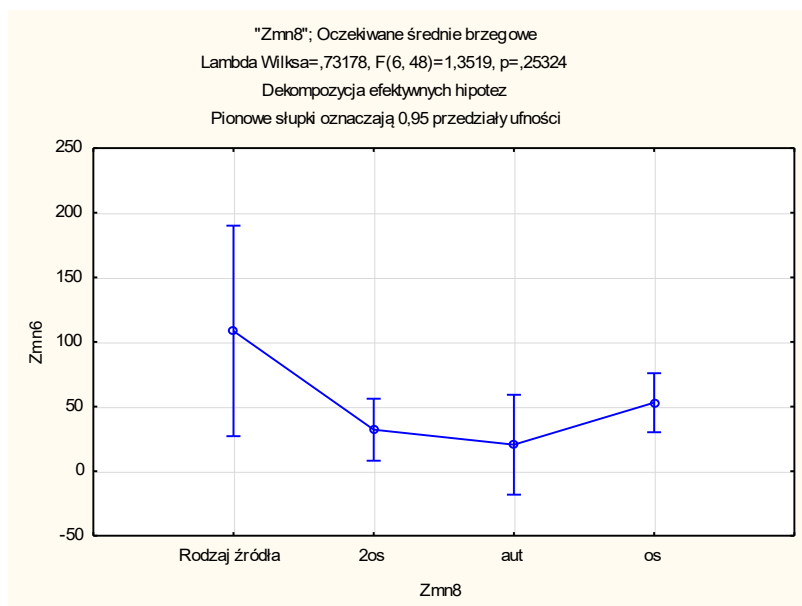


Rys. 1 Kształtowanie się średniej zmiennej UBA w zależności od rodzaju nawierzchni

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Analiza zmiennej zależnej UBA (rys. 2) w odniesieniu do kategorii zmiennej niezależnej – rodzaj źródła wykazuje zróżnicowanie kategorialne i dla źródła: os. relacja ta jest największa.

Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP
"Przekraczamy Granice"



Rys. 2 Kształtowanie się średniej zmiennej UBA w zależności od rodzaju źródła
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Otrzymane wyniki wariantów analizy wariancji dla zmiennych zależnych (tabela 5) wykazują dużą istotność w badanych grupach dla wartości parametrów jakości dźwięku oraz otrzymanych wartości ocen dokuczliwości z eksperymentu. Mniejszą istotnością statystyczną charakteryzuje się zmienna PA, najmniejszą z kolei UBA. Wartości statystyk testowych rozkładu F dla poziomu istotności $\alpha = 0.05$ w większości przypadków zmiennych zależnych wykazują wartości $p < 0,05$ i zmienność ich jest statystycznie różna. Tylko w przypadku zmiennej UBA wartość F jest bliższa jedności oraz $p > 0,05$, co oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej.

Tabela 5 Wielowymiarowe testy istotności (dane wejściowe)

Nr wariantu	Zmienna	SS Model	MS Model	df Model	F	p
Wariant 1	N	8688,3	2172,0	4	97,1	0,000
	S	9541,8	2385,4	4	19116,6	0,000
	R	9807,6	2451,9	4	25501,6	0,000
	F	9808,2	2452,0	4	129504,4	0,000
Wariant 2	sr_odp.	9223,8	2305,9	4	2114,1	0,000
Wariant 3	UBA	8925,3	2231,3	4	1,63	0,195
	PA	8211,1	2052,7	4	13,6	0,000

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

PODSUMOWANIE

Zastosowanie metody Anova w ocenie dokuczliwości hałasu oddziaływania źródeł hałasu komunikacyjnego pozwoliło uwzględnić zmienne wejściowe o charakterze ilościowym i jakościowym. W ramach badań przeprowadzono wariantową analizę dla zróżnicowanych konfiguracji zmiennych z uwzględnieniem ocen dokuczliwości hałasowej otrzymanych w warunkach laboratoryjnych. Z zestawienia danych wejściowych wynika, że największy wpływ na kształtowanie się miar jakości dźwięku

ma rodzaj źródła hałasu. Największe z kolei znaczenie wpływu rodzaju nawierzchni odnotowano w uzyskanych ocenach z eksperymentu. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że najmniejsze znaczenie wykazuje miara UBA w odniesieniu do rodzaju źródła i rodzaju nawierzchni. Zaproponowany sposób wariantowego podejścia do oceny dokuczliwości hałasu ze względu na zróżnicowane dane wejściowe pozwala statystycznie oszacować istotność parametrów wejściowych. Otrzymane wyniki mogą być zastosowane w doborze zmiennych wejściowych przy zastosowaniu inteligentnych metod oceny dokuczliwości oddziaływania w środowisku. Zakłada się, że pozwoli to na ograniczenie ilościowe przeprowadzania badań dokuczliwości hałasu w warunkach laboratoryjnych.

LITERATURA

1. W. Aures. "Berechnungsverfahren für den sensorischen Wohlklang beliebiger Schallsignale": *Acustica* 59, 1985, pp 130-141.
2. DIN 45631/A1:2010 "Calculation of loudness level and loudness from the sound spectrum" - Zwicker method – Amendment 1: Calculation of the loudness of time-variant sound
3. K. Genuit., A. Fiebig: Psychoacoustics and its Benefit for the Sounscape Approach. *Acta Acustica inited with Acustica* Vol. 92, 1-7, 2006
4. W. Paszkowski. „Wykorzystanie metod badań audiometrycznych w identyfikacji dokuczliwości hałasowej mieszkańców”, z.2 (11). Red. J. Brodny, Ł. Dziemba, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji: P.A. Nova, 2015, s. 170-179.
5. A. Preis., T. Kaczmarek.: Annoyance of time-varying Road-traffic noise. *Archives of acoustics*, 35, 3, 383-393, 2010
6. Statistica 12 – software Statsoft Polska, 2013.
7. E. Zwicker, H. Fastl. "*Psychoacoustics, Facts and Models*", Berlin: Springer Verlag, 1990, 2007.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 04.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2017

dr inż. Waldemar Paszkowski

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska

tel.: +4832 277 73 11, e-mail: waldemar.paszkowski@polsl.pl



PŘEKRAČUJEME HRANICE
PRZEKRACZAMY GRANICE
2014–2020



EVROPSKÁ UNIE / UNIA EUROPEJSKA
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP
"Przekraczamy Granice"

OCENA DOKUCZLIWOŚCI ODDZIAŁYWANIA ŹRÓDEŁ HAŁASU DROGOWEGO W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono próbę oceny statystycznej wyników badań psychoakustycznych z przeprowadzonego eksperymentu nad dokuczliwością źródeł hałasu drogowego. Badaniu podlegała ocena dokuczliwości hałasowej emitowanych sygnałów akustycznych w warunkach laboratoryjnych. Otrzymane wyniki badań wykorzystane mogą być w zadaniach modelowania jakości akustycznej środowiska zurbanizowanego zagrożonego hałasem.

Słowa kluczowe: analiza wariancji, dokuczliwość hałasu, hałas drogowy

EVALUATION OF ANNOYANCE IMPACT OF ROAD NOISE SOURCES IN THE LABORATORY CONDITIONS

Abstract: The article presents an attempt of a statistical assessment of the results of psychoacoustic research of the conducted experiment on the annoyance of traffic noise sources. The study was subjected to noise annoyance assessment of emitted acoustic signals in laboratory conditions. The obtained results may be used in the acoustic quality modeling of the urbanized noise hazard environment.

Key words: analysis of variance, annoyance of noise, road noise