
Z MIKROFONEM PO ŚWIECIE

ANALIZA WYBRANYCH DŹWIĘKÓW IMPULSOWYCH W WARUNKACH POLA SWOBODNEGO

Analysis of selected impulsive sounds
in free-field conditions

Bartłomiej KUKULSKI

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
kukulski@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy było zbadanie fizycznych cech wybranych dźwięków impulsowych w warunkach pola swobodnego. W pracy dokonano pomiarów sygnałów będących przykładem dźwięku impulsowego: uderzenie metalu o metal, pęknięcie balonu oraz wystrzał z pistoletu hukowego. Dla zarejestrowanych przebiegów czasowych obliczono wartości parametrów czasowych zgodnie z normami: ISO 1996-1, ISO 1996-2 oraz ISO 10843, a także wartości wybranych parametrów akustycznych i statystycznych deskryptorów impulsowości.

ABSTRACT

The aim of the study was to investigate the physical characteristics of the selected impulsive sounds in free-field conditions. In the paper was performed a set of measurements of signals, typical examples of a impulsive sounds: impact on metal of metal, bursting balloon, and a sound of gunshot. For registered waveforms values of the time parameters according to ISO 1996-1, ISO 1996-2 and ISO 10843 was calculated, as well as selected acoustic parameters and statistical impulsiveness descriptors.

1. WSTĘP

Dźwięki występujące w przyrodzie można klasyfikować na wiele sposobów. W literaturze można znaleźć podziały ze względu na m.in. czas trwania, charakter dźwięku, zakres częstotliwości, energię czy źródło powstawania. Istnieją też podziały dźwięków uwzględniające kilka kryteriów, również subiektywnych, czasami nawet sprzecznych.

Jedną z grup dźwięków, klasyfikowanych w taki interdyscyplinarny sposób, są dźwięki impulsowe. Część z nich może mieć charakter „informacyjny” (klakson, wystrzał pistoletu sygnalizujący start wyścigu), inne mogą wzbudzać niepokój (wybuchy, wystrzały, trzaski), jeszcze inne są przyczyną podwyższonej dokuczliwości akustycznej (młoty pneumatyczne, zderzenia pociągów) [1]. Niezależnie jednak od tego, jakie odczucia wywołują te dźwięki, wszystkie z nich mają dwie jednoznaczne cechy dystynktywne: krótki czas trwania, zazwyczaj mniej niż 1 s [2], oraz wysoką amplitudę impulsu.

Celem pracy było zbadanie fizycznych cech wybranych dźwięków impulsowych w warunkach pola swobodnego. Takie właśnie warunki pozwalają na rejestrację sygnałów bez żadnych zakłóceń czy zniekształceń wywołanych np. nakładaniem się fal odbitych. Mimo że takie warunki są niemożliwe do osiągnięcia w warunkach rzeczywistych, to wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy mają dużą wartość poznawczą. Mogą one stanowić punkt odniesienia do pomiarów środowiskowych, a także być podstawą do opracowania obiektywnych kryteriów identyfikacji i klasyfikacji impulsów, a w konsekwencji do zaproponowania matematycznego algorytmu dopasowującego wartość poprawki impulsowej stosowanej w ocenie hałasu środowiskowego do wyników pomiarów. Wynika

to z tego, iż – mimo dużej wiedzy na temat zjawisk impulsowych – podstawą oceny hałasu i uciążliwości wciąż są wrażenia subiektywne [3].

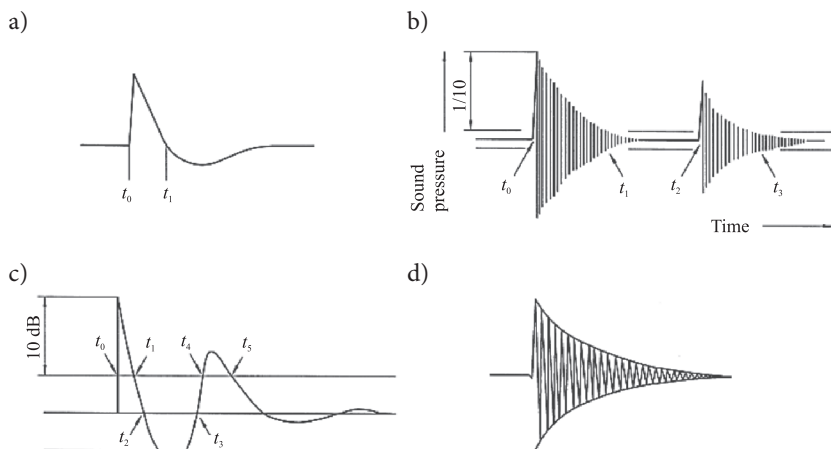
2. KLASYFIKACJA I CECHY DŹWIĘKÓW IMPULSOWYCH

Dźwięki impulsowe charakteryzuje się przede wszystkim na podstawie rozpoznania źródeł ich powstawania [4]. Należy jednak podkreślić, że podział tych dźwięków oparty jest na subiektywnej ocenie źródeł powstawania impulsów. Współcześnie wyróżnia się trzy podstawowe kategorie źródeł dźwięku: źródła wysokoenergetycznego dźwięku impulsowego, definiowane jako wybuch trotylu o masie przekraczającej 50 g, lub dźwięki zbliżone do niego pod względem charakterystyki i uciążliwości (np. fale uderzeniowe, wybuchy, eksplozje w kopalniach), źródła dźwięku wysokoimpulsowego, czyli takie, w których dokuczliwość ma charakter przede wszystkim impulsowy (wystrzał z broni palnej, młotkowanie drewna), a także źródła typowego dźwięku impulsowego, niedające przypisać się do żadnej z dwóch pierwszych kategorii (bicie dzwonów, trzaskanie drzwiami). Podział ten jest podstawą oceny uciążliwości i wyboru odpowiedniej wartości korekcji impulsowej [5].

Każdy dźwięk impulsowy można opisać za pomocą szeregu parametrów fizycznych. Norma PN-ISO-10843:2002 [6] podaje opis wielkości charakteryzujących dźwięki impulsowe, wśród których należy wyróżnić dwie grupy parametrów.

Do pierwszej grupy należą parametry związane z przebiegiem czasowym sygnału: czasy narastania A, B, C oraz obwiednia sygnału (rys. 1). Czas A (rys. 1a) zdefiniowany jest jako różnica czasowa między osiągnięciem przez impuls wartości szczytowej a powrotem do wartości zerowej. W rzeczywistości jest to przedział czasowy między chwilą, w której narastające zbocze sygnału osiągnie poziom 20 dB poniżej wartości szczytowej, a momentem, w którym zbocze opadające osiągnie ten sam poziom po raz pierwszy. Czas B (rys. 1b) określa łączny czas, w którym obwiednia sygnału przekracza 10% wartości szczytowej (liczonej zarówno dla fali głównej, jak i fali odbitej). Czas C (rys. 1c) odpowiada natomiast łącznemu czasowi, który jest potrzebny do osiągnięcia ciśnienia akustycznego na poziomie 10 dB poniżej wartości szczytowej sygnału. Czas narastania to czas, w którym wartość sygnału wzrasta od 10% do 90% maksymalnej wartości bezwzględnej. Ostatnim parametrem jest obwiednia sygnału (rys. 1d), będąca krzywą łączącą kolejne maksima bądź minima sygnału. Czasy A, B i C mierzone są w sekundach.

Drugą grupę stanowią parametry akustyczne sygnału (ciśnieniowe, energetyczne). Do najważniejszych parametrów w tej grupie zaliczamy trzy parametry, wszystkie wyrażone w decybelach: maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, ważony krzywą A oraz liczony ze stałą czasową Fast – L_{AFmax} , szczytowy poziom ciśnienia akustycznego, ważony krzywą C – L_{Cpeak} . Oba te parametry są podstawą oceny hałasu impulsowego zgodnie z obowiązującymi w Polsce aktami normatywnymi [7, 8]. Ostatnim parametrem jest szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego L_{peak} .



Rys. 1. Parametry związane z przebiegiem czasowym sygnału impulsowego: a) czas A; b) czas B; c) czas C; d) obwiednia [6]

W ocenie impulsowości sygnału można posłużyć się również definicją zaproponowaną w pracy [1], gdzie impulsowość sygnału określono jako wielkość będącą różnicą szczytowego poziomu dźwięku A oraz równoważnego poziomu dźwięku A mierzonego ze stałą czasową SLOW.

$$I = L_{Apeak} - L_{AS} \geq 15 \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie:

L_{Apeak} – szczytowy poziom dźwięku A [dB],

L_{AS} – równoważny poziom dźwięku A mierzony ze stałą czasową SLOW [dB].

Sygnały impulsowe można również opisywać za pomocą parametrów statystycznych, bazujących na rozkładzie częstotliwości sygnału [1], a w szczególności na czwartym momencie centralnym, kurtozie określającej płaskość rozkładu oraz na środku ciężkości widma, opisującym rozkład częstotliwości w widmie. W tym przypadku definiuje się go jako średnią ważoną dla wszystkich pasm częstotliwości i wyraża się następującą zależnością:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (2)$$

gdzie:

w_i – wartości równoważnego poziomu dźwięku w i -tym paśmie 1/3-oktawowym,

x_i – częstotliwość środkowa i -tego pasma 1/3-oktawowego.

Kurtozę można natomiast zapisać jako:

$$Kurt = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^4}{\sigma^4} - 3 \quad (3)$$

gdzie:

N – liczebność próby,

x_i – równoważny poziom dźwięku dla i -tego pasma częstotliwości,

μ – wartość średnia (wartość oczekiwana) z próby,

σ – odchylenie standardowe.

3. MATERIAŁ I METODYKA POMIAROWA

W celach badawczych wykonano serię pomiarów wybranych dźwięków impulsowych. Rejestracja sygnałów nastąpiła w komorze bezchłowej mieszczącej się w budynku Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie. Do rejestracji sygnału czasowego wykorzystano rejestrator dźwięku Zoom H5, natomiast pomiaru parametrów akustycznych dokonano za pomocą miernika SVAN 958 wraz z mikrofonem klasy 1, odpowiedniego do pomiarów w polu swobodnym. Na potrzeby niniejszej publikacji wybrano trzy typowe źródła dźwięków impulsowych: uderzenie metalu o metal, wystrzał z pistoletu hukowego oraz dźwięk pękającego balonu. Podczas rejestracji sygnałów impulsowych osoba obsługująca sprzęt pomiarowy wyposażona była w niezbędne ochronniki słuchu.

Dźwięki impulsowe generowano w centralnym punkcie komory bezchłowej, natomiast punkty pomiarowe wyznaczono w rogach pomieszczenia, w odległości około 4 m od miejsca powstawania dźwięku. W przypadku rejestracji sygnałów czasowych każdorazowo dopasowano poziom wzmocnienia tak, by nie doszło do przesterowania sygnału. Parametry czasowe takie jak chwilowy poziom dźwięku wyznaczone zostały ze stałą czasową FAST, natomiast multiwidmo zarejestrowano z czasem rejestracji wynoszącym 0,05 s. Wszystkie dźwięki wygenerowano na wysokości 1,5 m, co jednocześnie odpowiadało wysokości umieszczenia mikrofonu i rejestratora dźwięku.

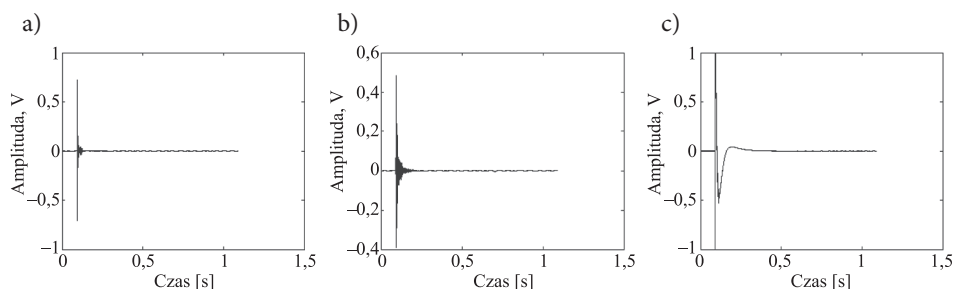
Materiał badawczy obejmuje trzydzieści sygnałów uderzenia metal o metal, dziesięć rejestracji pęknięcia balonu oraz siedem wystrzałów z pistoletu hukowego.

4. ANALIZA WYNIKÓW

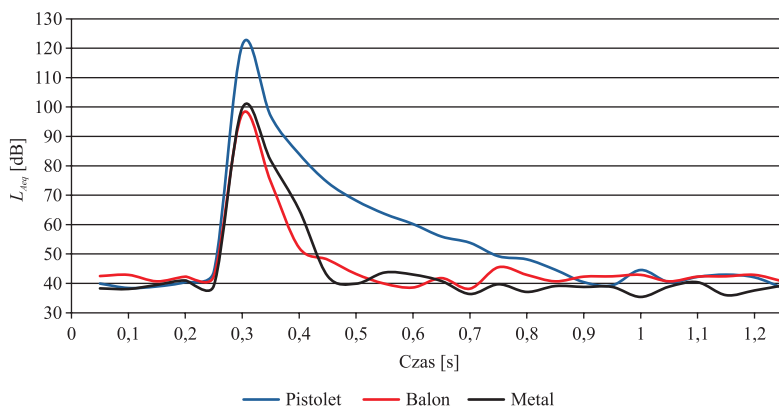
Dla wszystkich zarejestrowanych sygnałów różnica czasowa pomiędzy początkiem sygnału impulsowego a jego końcem wynosi około 0,1 s. Czasy te wahają się w przedziale $\pm 0,05$ s, wynika to z kilku czynników. Dla balonu znaczenie ma ilość wtłoczonego powietrza i naprężenie balonu; dla uderzenia metal o metal rozbieżności wynikają np. z wielokrotnych uderzeń w ten sam punkt oraz drgań generowanych podczas uderzenia; natomiast różnice

w czasach wybrzmiewania wystrzałów są znikome. Przebiegi czasowe trzech rodzajów impulsów zaprezentowano na rysunku 2.

Dzięki warunkom pola swobodnego, jakie panują w komorze bezchowej, tło akustyczne ma charakter stacjonarny. Dla przebiegów czasowych zarejestrowanych podczas badań równoważny poziom dźwięku $A L_{Aeq}$ osiągał wartości około 32 dB, natomiast nieskorygowany poziom szczytowy L_{peak} można było uznać za stały, wahający się w granicach 57–58 dB. Przebieg tego parametru w czasie zaprezentowano na rysunku 3. Wszystkie trzy sygnały wykazują podobieństwo w narastających zboczach sygnału, natomiast różnią się w drugiej połowie rejestracji, tj. podczas opadania zbocza.



Rys. 2. Unormowane przebiegi czasowe zarejestrowanych impulsów: a) balonu; b) uderzenia metal o metal; c) wystrzału z pistoletu hukowego



Rys. 3. Przebieg równoważnego poziomu dźwięku A dla sygnałów impulsowych w czasie

Tabela 1 przedstawia wartości parametrów czasowych wyznaczonych dla każdego z rejestrowanych impulsów. Wyraźna jest tu zależność między czasem A a czasem B – czas B jest około dwa razy dłuższy niż czas A. Niskie wartości czasu C dla każdego sygnału wynikają z warunków rejestracji w polu swobodnym – do mikrofonu dotarła jedynie fala

bezpośrednia, przez co odbicia niemalże nie występują i w związku z tym nie można wziąć ich pod uwagę w wyznaczaniu tego parametru. Wszystkie źródła dźwięków impulsowych charakteryzują się podobnym czasem narastania wynoszącym około 0,02–0,03 s. W celu przejrzystości wyników w tabeli parametrów czasowych nie podano wartości niepewności pomiaru, na którą wpływ ma szereg czynników, np. częstotliwość próbkowania wynosząca 44 100 Hz wraz z rozdzielczością czasową wynoszącą $1/fs$ czy czynniki fizyczne (różne, choć zbliżone objętości powietrza w balonach czy nierówności metalowych prętów).

Wartości parametrów akustycznych L_{AFmax} , L_{Cpeak} oraz L_{peak} , wraz z odchyleniem standardowym, zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1

Parametry czasowe sygnałów impulsowych

Parametr	Metal	Balon	Pistolet
Czas A [s]	0,0638	0,0505	0,0491
Czas B [s]	0,1375	0,1048	0,0861
Czas C [s]	0,0103	0,0027	0,0394
Czas narastania [s]	0,0262	0,0224	0,0295

Tabela 2

Parametry akustyczne sygnałów impulsowych wraz z odchyleniem standardowym

Parametr	Metal	Balon	Pistolet
L_{AFmax} [dB]	96,4 ± 2,6	90,0 ± 2,2	114,6 ± 0,4
L_{Cpeak} [dB]	117,5 ± 2,8	114,3 ± 2,4	140,1 ± 0,1
L_{peak} [dB]	118,6 ± 4,1	115,2 ± 2,2	140,6 ± 0,2

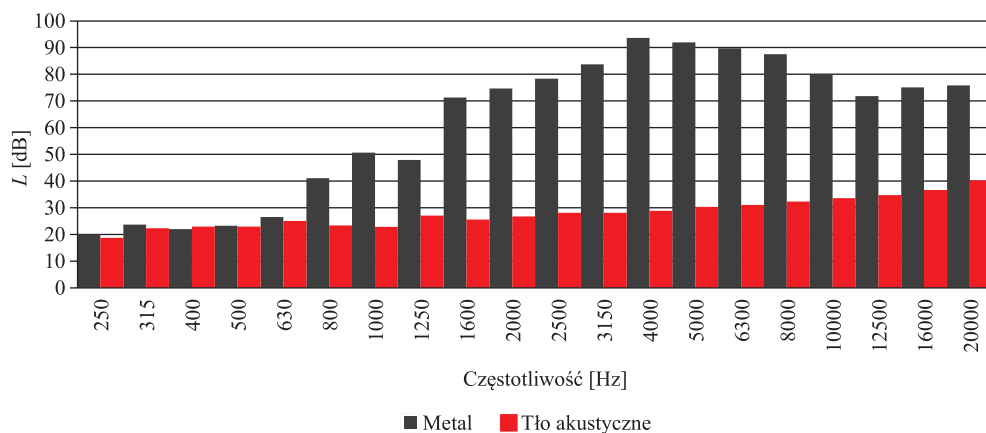
W tabeli 3 zaprezentowano zależność wartości parametru impulsowości od czasu pomiaru w warunkach pola swobodnego o stacjonarnym poziomie tła akustycznego. Niezależnie od sygnału wymuszenia parametr ten wzrasta o 3 dB wraz z podwojeniem czasu obserwacji sygnału. Wśród trzech źródeł dźwięków impulsowych najmniejszą impulsowość w czasie wskazuje rejestracja sygnału pękającego balonu, podczas gdy największą wartość tego parametru zaobserwowano w przypadku uderzenia metalu o metal.

Na rysunku 4 zaprezentowano porównanie widma 1/3-oktawowego dla tła akustycznego oraz uderzenia metalu o metal. Z uwagi na wybór czasu rejestracji multiwidma, wynoszącego 0,05 s, wykres ten przedstawia wartości od 250 Hz do 20 000 Hz. Przeprowadzona analiza częstotliwościowa sygnałów wykazała, że widmo dźwięków impulsowych przypomina widmo tła akustycznego w niższych pasmach, tj. między 250 Hz a 630 Hz, natomiast różnice w pasmach środkowych i wysokoczęstotliwościowych są znaczne i wynoszą w zależności od pasma od 20 dB do nawet 60–70 dB.

Tabela 3

Impulsowość sygnału w zależności od czasu obserwacji sygnału w polu o stacjonarnym poziomie tła akustycznego

Czas obserwacji [s]	Impulsowość [dB]		
	metal	balon	pistolet
1	15,7	8,5	10,4
2	18,7	11,5	13,4
4	21,7	14,5	16,4
8	24,7	17,5	19,4
16	27,7	20,5	22,5
32	30,8	23,5	25,5
64	33,8	26,5	28,5
128	36,7	29,5	31,5



Rys. 4. Porównanie widma 1/3-oktawowego tła akustycznego i uderzenia metalu o metal

Statystyczne deskryptory impulsowości dla trzech sygnałów oraz tła akustycznego zamieszczono w tabeli 4. Wszystkie trzy sygnały cechują się ujemną wartością kurtozy, co świadczy o impulsowym charakterze sygnału. Oznacza to, że kurtoza dobrze nadaje się do identyfikacji zjawisk impulsowych. Niestety wzajemne podobieństwo wartości środka ciężkości widma dla różnych sygnałów dyskwalifikuje ten deskryptor jako narzędzie przydatne w rozpoznawaniu sygnałów impulsowych w warunkach pola swobodnego. Parametr ten znajduje jednak zastosowanie w przypadku identyfikacji tych sygnałów w warunkach rzeczywistych, np. w automatycznym rozpoznawaniu stukotów na kolei [1].

Tabela 4

Parametry statystyczne dla sygnałów impulsowych oraz dla tła akustycznego

Parametr	Tło	Metal	Balon	Pistolet
Kurtoza	1,0052	−0,5388	−0,6248	−1,6493
Środek ciężkości [Hz]	4004,04	4240,58	3804,49	4057,54

5. WNIOSKI

Niniejsza praca jest rezultatem badań wybranych sygnałów impulsowych w warunkach pola swobodnego. W pracy dokonano krótkiego przeglądu stanu wiedzy dotyczącego klasyfikacji źródeł sygnałów impulsowych oraz ich najważniejszych cech fizycznych: parametrów czasowych, akustycznych i statystycznych.

Wszystkie trzy rodzaje sygnałów, tj. dźwięki: uderzenia metalu o metal, pękającego balonu oraz wystrzału z pistoletu hukowego cechują podobne wartości parametrów czasowych. Stosunek czasu A do czasu B wynosi około 1/2, natomiast czas C jest od nich zdecydowanie krótszy. Wynika to wprost z tego, że sygnały rejestrowano w polu swobodnym, co wpłynęło na brak odbić i zniekształceń w rejestrowanych sygnałach. Każdy z sygnałów charakteryzuje się też szybkim czasem narastania.

Zaprezentowano porównanie użytecznych parametrów akustycznych. Wśród zaproponowanych parametrów statystycznych użytecznym deskryptorem wydaje się być kurtoza, której ujemna wartość wskazuje na wyraźną impulsowość sygnału.

Praca nie wyczerpuje podjętego tematu, ale może być podstawą do kontynuowania badań, przede wszystkim przez porównanie z parametrami wyznaczonymi w warunkach rzeczywistych. Równocześnie praca stanowi tło do badań nad stworzeniem obiektywnych kryteriów klasyfikacji sygnałów impulsowych w celu wyznaczenia odpowiednich wartości korekcji impulsowej.

LITERATURA

- [1] Kukulski B.: Parametryzacja i ocena hałasu pochodzącego od kolei podczas dojazdu do stacji, praca inżynierska, AGH, Kraków 2013
- [2] Hamernik R.P., Hsueh K.D.: Impulse noise: some definitions, physical acoustics and other considerations, The Journal of the Acoustical Society of America, 1991, 90(1), 189–196
- [3] Wszolek T.: Tonal and Impulsive Adjustment for Noise Source Rating Levels, Progress of Acoustics, Polish Acoustical Society, Wroclaw Division, 2015, 413–426
- [4] ISO 1996-1:2003 – Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- [5] ISO 1996-2:2007 – Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels

- [6] ISO 10843:2002 – Acoustics: Methods for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses
- [7] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r., Prawo ochrony środowiska, Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 z późn. zm.
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów pobieranej wody, Dz.U. 2014 poz. 1542

MONITORING BIOAKUSTYCZNY: CELE, METODY I PROBLEMY ZWIĄZANE Z AUTOMATYCZNĄ IDENTYFIKACJĄ GŁOSÓW PTAKÓW

Bioacoustic monitoring: objectives, methods
and problems connected
with automatic recognition of bird voices

Hanna PAMUŁA, Maciej KŁACZYŃSKI

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
hanna.pamula@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Monitoring przyrodniczy jest niezbędnym narzędziem wykorzystywanym w badaniach nad występowaniem, rozmieszczeniem czy zagęszczeniem różnych gatunków zwierząt. Są to badania szczególnie istotne w obserwowaniu trendów zmian w populacjach rzadkich i zagrożonych gatunków, ponieważ dostarczają wiele kluczowych danych niezbędnych do skutecznej ochrony bioróżnorodności. Tradycyjne metody monitoringu przyrodniczego bywają niestety ograniczone, zarówno przez wysokie koszty, brak wystarczającej liczby wykwalifikowanych osób, jak i czasochłonność badań. Poszukuje się więc sposobów na uzupełnienie tradycyjnych metod badań w celu pozyskania mniejszym kosztem większej ilości wiarygodnych danych. W zależności od grupy zwierząt, którą chcemy badać, należy skupić się na systemach rozpoznawania dźwięku, obrazu bądź obu tych cech jednocześnie. Niniejsza praca dotyczy głosów ptaków. Warto podkreślić, że w przypadku prowadzenia tradycyjnego monitoringu ornitologicznego (szczególnie na terenach leśnych) większość ptaków jest rozpoznawana po głosie. Współpraca specjalistów w zakresie biologii, akustyki i przetwarzania sygnałów mogłaby zaowocować opracowaniem systemu automatycznej identyfikacji głosów ptaków, który wspomagałby tradycyjne metody inwentaryzacji.

W artykule zaprezentowano kilka najczęściej używanych metod rozpoznawania ptasich głosów. Opisano poszczególne etapy procesu identyfikacji, metody parametryzacji i charakteryzacji dźwięków awifauny oraz ich klasyfikacji. Zostały także omówione problemy związane z rozpoznawaniem głosów ptaków, takie jak np.: rozpoznawanie w przypadku kilku nakładających się dźwięków, naśladownictwo głosów jednych gatunków przez inne, zakłócenia związane z występującym hałasem środowiskowym czy różnorodność ptasich śpiewów i dialektów.

Przedstawione zagadnienia mogą posłużyć jako baza do opracowania wstępnej koncepcji monitoringu wspomaganego automatycznym rozpoznawaniem głosów ptaków.

ABSTRACT

Environmental monitoring is an essential tool for assessment of distribution, density and presence of different animal species of the selected area. Monitoring is indispensable for observing trends in populations of rare and endangered species and it gives crucial information for effective biodiversity conservation. Unfortunately, traditional methods of nature monitoring are time-consuming and limited by high cost and deficit of specialists. Hence, a lot of effort is put into search of cost-effective, automatic methods which could support traditional monitoring.

Sound or image recognition methods are used depending on the group of animals which we want to monitor. Article is focused on the group of birds. In most cases, during traditional avian monitoring, birds are recognized by experts thanks to their vocalizations. Cooperation of specialists in ornithology, acoustics and signal processing could lead to the construction of automatic system identifying birds only on the basis of their sounds.

The article presents the most popular methods of bird sounds recognition. All steps of recognition process, including parameterisation and classification stages, are described. Also the difficulties in the bird recognition problem are discussed, such as troubles with identification when multiple birds are singing simultaneously, mimicking others species sounds, background noise in real-field recordings and variability of bird's calls and songs.

Presented issues may serve as a theoretical background for the first concept of avian monitoring supported by the system of automatic recognition of bird sounds.

1. WSTĘP

Monitoring ornitologiczny pozwala ocenić stopień rozpowszechnienia populacji ptaków na danym obszarze, jej liczebność (wraz z trendami zmian), efekty rozrodu czy bogactwo

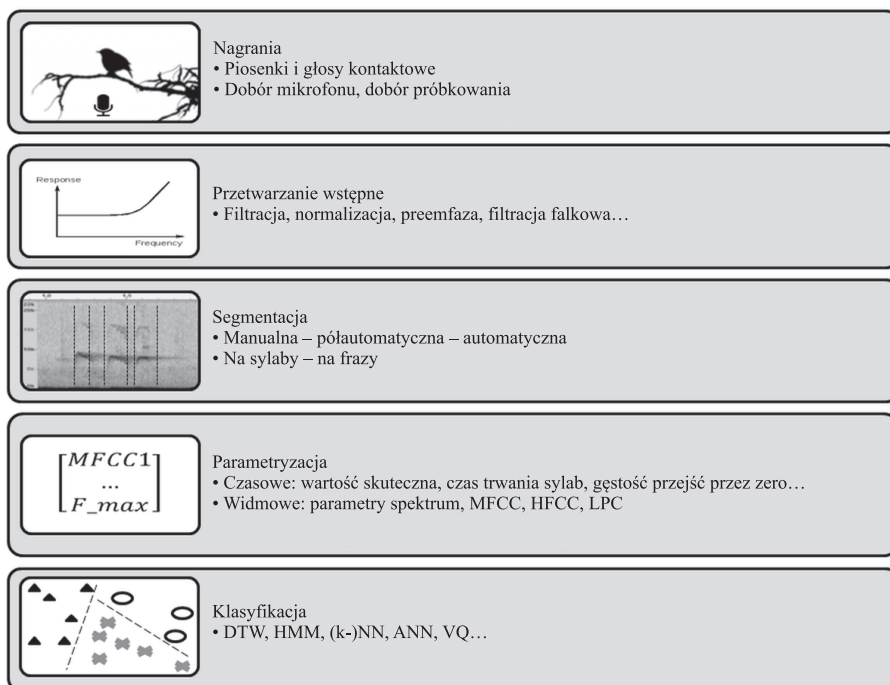
gatunkowe [1]. Są to dane, które nie tylko dostarczają kluczowych informacji potrzebnych do skutecznej ochrony bioróżnorodności, ale także dobrze opisują środowisko i ekosystemy, w którym żyjemy. Jako przykład mogą służyć wskaźniki populacji ptaków krajobrazu rolnego (*Farmland Bird Index*), które są oficjalną miarą zrównoważonego rozwoju krajów Unii Europejskiej [2, 3] czy wskaźniki populacji pospolitych ptaków (*Common Bird Index*) będące według Eurostatu wskaźnikami stanu środowiska [4].

Na świecie występuje prawie 10 000 gatunków ptaków, w Polsce zaobserwowano ponad 450 gatunków, w tym około 230 gatunków lęgowych [5]. Monitoring ptaków w Polsce obejmuje kilkadziesiąt programów zajmujących się ptakami lęgowymi (m.in. monitoring pospolitych ptaków lęgowych, monitoring lęgowych sów leśnych), zimującymi (ptaki wodne czy morskie), migrującymi (gęsi, żurawie, ptaki drapieżne) czy konkretnymi gatunkami (np. monitoring łabędzia krzykliwego czy orła przedniego) [2]. Takie tradycyjne metody monitoringu są niestety ograniczone, zarówno przez czasochłonność, wysokie koszty, jak i ograniczoną liczbę wykwalifikowanych specjalistów. Ponadto problemem jest wpływ bardzo wielu czynników na to, czy obecność danego ptaka zostanie stwierdzona podczas kontroli: to, że obserwator nie usłyszał czy nie zobaczył danego gatunku na badanym obszarze, wcale nie oznacza, że go tam nie ma. Podstawowymi czynnikami wpływającymi na stwierdzenie obecności ptaków są: zachowanie ptaków (różne w zależności od gatunku, pory doby, pory roku), warunki obserwacji (np. pogoda, hałas tła środowiskowego, ograniczone pole widzenia) oraz indywidualne cechy osoby prowadzącej monitoring – doświadczenie obserwatora, jego umiejętności rozpoznawania głosów czy nawet wiek (starsze osoby, ze względu na zmiany w układzie słuchowym, mogą nie usłyszeć gatunków śpiewających na wysokich częstotliwościach, takich jak np. mysikrólik czy pelczacz leśny) [6]. W rozwiązaniu jednego z powyższych problemów, związanego z różną percepcją i umiejętnościami słuchaczy, mógłby pomóc system automatycznego akustycznego monitoringu ptaków. Dzięki automatycznemu rozpoznawaniu głosów przez program uzyskiwane wyniki byłyby bardziej powtarzalne i porównywalne, a przez to łatwiejsze do interpretacji.

2. METODY ROZPOZNAWANIA PTAKÓW

Identyfikacja ptasich głosów jest aktualną i często poruszaną tematyką w fachowej literaturze. W ostatnich latach opublikowano wiele prac na temat metod przetwarzania ptasich śpiewów [7–14]. Istnieją także komercyjne aplikacje pozwalające na rozpoznawanie śpiewu ptaków za pomocą smartfona (np. Warblr [15], Bird Song ID [16]), a także ich identyfikację przez analizę zdjęć (Merlin Bird ID [17]). Jednak, według wiedzy autorów artykułu, nie ma jeszcze wdrożonych programów, które byłyby faktycznie używane do wspomagania monitoringu środowiskowego.

Rozpoznawanie głosów ptaków można podzielić na kilka etapów, które schematycznie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Etapy automatycznego rozpoznawania ptaków po głosach, wraz z wybranymi metodami dla każdego z wymienionych etapów (zob. podrozdz. 2.1–2.3)

2.1. NAGRANIA, PRZETWARZANIE WSTĘPNE I SEGMENTACJA

Odpowiednie nagranie głosów i zebranie bazy danych gatunków, które chcemy identyfikować, jest pierwszym istotnym punktem badań. Wiele artykułów analizuje nagrania wykonane w izolowanych warunkach bez tła akustycznego [7] (znacznie odbiegających od warunków rzeczywistych) czy materiał pozyskany z zasobów Internetu [8, 12]. Takie badania często różnią się więc jakością i rodzajem wykorzystanego sprzętu czy charakterystyką mikrofonów użytych do nagrań. Może to powodować zmiany w parametrach, które będą analizowane w kolejnych etapach rozpoznawania ptasich głosów, warto więc samemu wykonać nagrania, zlecić ich wykonanie specjalistom lub skorzystać ze sprawdzonego źródła, w którym nagrania były wykonywane w ściśle określony sposób.

Większość badaczy próbowało nagrania z częstotliwością 48 kHz lub 44,1 kHz [8, 9, 14], jednak niektórzy [11] twierdzili, że także wyższe częstotliwości są w przypadku ptaków znaczące, dlatego zastosowali próbkowanie z częstotliwością 96 kHz. Wydaje się to nieuzasadnione, gdyż większość ptaków ma węższy częstotliwościowy zakres słyszenia niż człowiek [18], więc częstotliwości ultradźwiękowe nie powinny być istotne w śpiewie ptaków.

Kolejnym krokiem jest wstępne przetworzenie nagrań (*preprocessing*). W artykułach dotyczących identyfikacji ptasich głosów prezentowano m.in. filtrację pasmowo-przepustową (tzn. likwidację części zakłóceń przez odcięcie wysokich lub niskich częstotliwości) [8, 11], normalizację (eliminację wpływu zróżnicowanych warunków na nagrania) [8, 9], preemfazę (wzmocnienie sygnału w wyższych częstotliwościach) [9, 10] czy filtrację falkową (pozbycie się szumów sprzętowych i środowiska) [8].

Następnym etapem jest segmentacja nagrań. Zwykle stosowana jest manualna, pół-automatyczna lub automatyczna segmentacja pojedynczych sylab [8] bądź całych fraz [9]. Jako przykład można podać detekcję sylab na podstawie krótkoczasowej transformaty Fouriera ($N = 512$, okno Hamminga) ze wskazaniem w poszczególnych ramkach momentów czasowych o maksymalnej amplitudzie, sprawdzeniem próbek przed nimi i po nich i ich klasyfikacją na podstawie odpowiednio wybranego progu tej sylaby [9]. Po wyznaczeniu poszczególnych sylab próbuje się określić frazy piosenek, np. na podstawie metod odległościowych, gdyż sylaby w obrębie jednej frazy cechują się zazwyczaj małą wariancją w czasie trwania i amplitudzie. Powtarzalność i czas trwania fraz jest więc istotnym parametrem w rozpoznawaniu ptasich głosów.

2.2. EKSTRAKcja CECH

Następnym bardzo ważnym etapem procesu rozpoznawania ptaków jest parametryzacja nagranych dźwięków. Najczęściej używanymi parametrami są współczynniki mel-cepstralne (MFCC) [7–12], stosowane w różnej liczbie (np. dwanaście [7], piętnaście [9]), które mogą być poddawane modyfikacjom (np. transformacie falkowej [9]) lub rozszerzane o ich pierwsze i drugie pochodne (tzw. współczynniki delta i delta-delta [11]). Współczynniki mel-cepstralne, które są transformatą kosinusową logarytmów współczynników uzyskanych z filtracji sygnału filtrami melowymi, są używane do rozpoznawania treści mowy, ponieważ eliminują wpływ osobniczy konkretnego mówcy; dobrze także sprawdzają się w rozpoznawaniu ptasich śpiewów. Stosowane są również współczynniki HFCC (*Human Factor Cepstral Coefficients*) bazujące na zmodyfikowanych filtrach melowych – według niektórych autorów pod względem efektywności przewyższają one zwykłe MFCC [11]. Często skutecznymi parametrami używanymi do klasyfikacji są również podstawowe parametry sygnału akustycznego, takie jak: wartość średnia, pasmo częstotliwości, czas trwania sylaby, amplituda sygnału, parametry energetyczne, częstotliwość dominująca, stosunek składowych harmoniczných do szumu i inne [7, 8]. Wielu autorów używa także liniowego kodowania predykcyjnego (LPC, *Linear Predictive Coding*), współczynników liniowego kodowania predykcyjnego cepstrum (LPCCs) czy współczynników falkowych.

2.3. KLASyFIKACJA

Literatura przedmiotu prezentuje kilka podejść i metod związanych z klasyfikacją głosów ptaków do danych gatunków. Częstym podejściem jest wykorzystywanie metod

stosowanych do rozpoznawania mowy, czyli ukrytych modeli Markowa (HMM, *Hidden Markov Models*) [10, 14], nieliniowej transformacji czasowej (DTW, *Dynamic Time Warping*) [11] czy Gaussowskiego modelu mieszanego (GMM, *Gaussian Mixture Model*) [12]. DTW, która ma na celu jak najlepsze dopasowanie sygnału do wzorca, polega na obliczeniu najmniejszego zakumulowanego kosztu przejścia między lewym dolnym a prawym górnym rogiem macierzy odległości między wektorami cech wzorca a wektorami elementu rozpoznawanego. Ze względu na łatwość implementacji i interpretacji oraz relatywnie dużą skuteczność metoda ta jest częściej wybierana niż metoda HMM [11], bazująca na prawdopodobieństwie i modelowaniu procesu na podstawie skończonej liczby stanów. Stosowane są również metody klasyfikacji za pomocą uczenia maszynowego, takie jak: sieci neuronowe (ANN, *Artificial Neural Network*) [7–9], maszyny wektorów nośnych (SVM, *Support Vector Machines*) [7, 13], drzewa decyzyjne [7, 8] i inne. Nierzadko wybierane są również klasyfikatory minimalno-odległościowe, np. najbliższego sąsiada z metryką Mahalanobisa [13] czy k -najbliższych sąsiadów (k -NN) [7, 8].

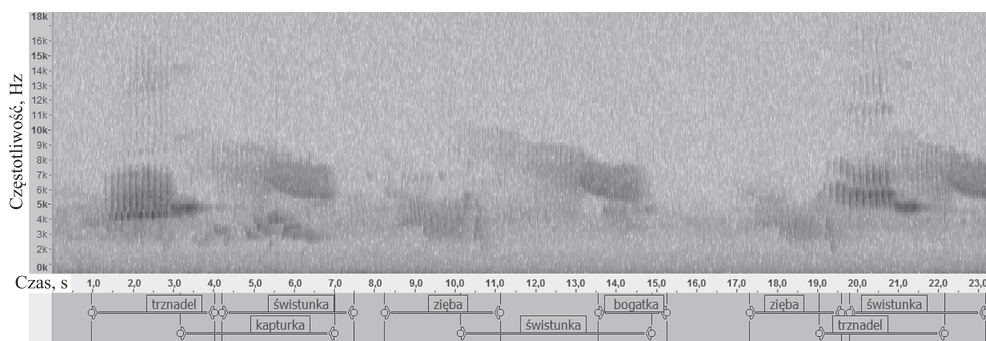
Trudno ocenić, która z metod jest najskuteczniejsza – większość z prezentowanych w literaturze metod wykazała skuteczność rozpoznawania rzędu 70–80% [7–9], w niektórych tylko przypadkach ponad 90% [7, 10–12]. Taka skuteczność może wynikać z tego, że każda z grup badawczych skupiała się na innych gatunkach ptaków i różnej ich liczbie (przeważnie tylko kilka, kilkanaście, czasem o zupełnie innych głosach), wykorzystywała nagrania pochodzące z różnych źródeł i porównywała tylko kilka z przedstawionych metod parametryzacji i klasyfikacji. Warto podkreślić, że wyżej wymienione metody to tylko kilka wybranych przykładów z wielu przedstawianych w pracach naukowych na temat rozpoznawania głosów ptaków.

3. TRUDNOŚCI I PROBLEMY ZWIĄZANE Z IDENTYFIKACJĄ GŁOSÓW PTAKÓW

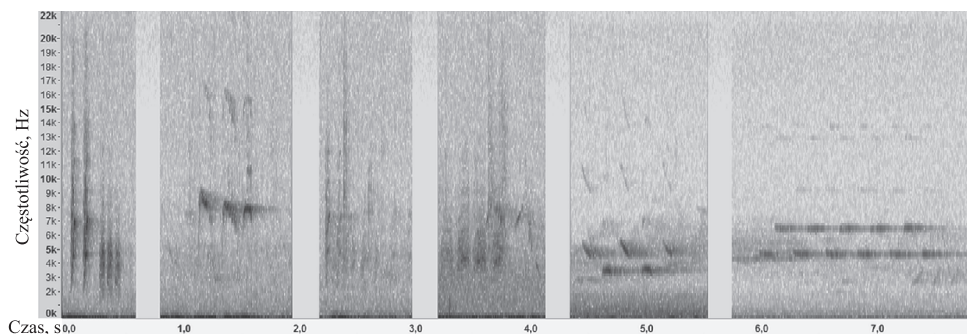
Istnieje kilka problemów, które są związane z automatycznym rozpoznawaniem ptasich śpiewów. Jako pierwszy z nich można wymienić równoczesne śpiewanie wielu gatunków ptaków. W naturalnym środowisku często zdarza się, że różne gatunki śpiewają razem czy wręcz się wzajemnie zagłuszają – ma to miejsce szczególnie wczesnym rankiem podczas tzw. ptasiego apelu (*chorus dawn*) i pod wieczór. Przykładowy spektrogram zarejestrowany rankiem wiosną 2014 roku w Puszczy Niepołomickiej, z tylko kilkoma śpiewającymi gatunkami, przedstawiono na rysunku 2.

Drugim istotnym problemem jest różnorodność ptasich śpiewów. Niektóre gatunki, takie jak przykładowo zięba (*Fringilla coelebs*) czy piegża (*Sylvia curruca*), mają jeden typ piosenki, dzięki czemu można go dość łatwo sparametryzować. Jednakże istnieje wiele gatunków, które mają dziesiątki czy nawet setki wariacji swoich piosenek i głosów kontaktowych. Przykładem może być popularna sikora bogatka (*Parus major*) (rys. 3) czy kos (*Turdus merula*) [19], które mają w swoim repertuarze ponad dwieście dźwięków i piosenek.

Kolejną trudnością w przypadku systemu automatycznego rozpoznawania ptasich śpiewów może być fakt, że ptaki – w zależności od pory roku czy miejsca przebywania – mogą zmieniać swoje piosenki oraz używać ich z inną częstotliwością [20]. Za przykład mogą służyć badania śpiewu ptaków w miastach – wykazano, że piosenki miejskich ptaków, chcących „przebić się” przez hałas miasta, cechowały się większą zawartością częstotliwości wyższych niż piosenki ptaków tego samego gatunku, ale mieszkających w środowisku niezurbanizowanym [20, 21]. Jest to przykład efektu Lombarda, czyli zmiany sposobu wydawania dźwięków po to, aby przewyciężyć efekt maskowania, podwyższając stosunek sygnału do szumu. Może się to odbywać m.in. przez zmianę częstotliwości czy głośności.



Rys. 2. Nakładające się śpiewy różnych gatunków ptaków – trznadla (*Emberiza citrinella*), kapturki (*Sylvia atricapilla*), świstunki (*Phylloscopus sibilatrix*), zięby (*Fringilla coelebs*), sikory bogatki (*Parus major*); śpiewy nagrane mikrofonem kierunkowym wiosną 2014 w Puszczy Niepołomickiej



Rys. 3. Różne wersje głosów kontaktowych (pierwsze cztery fragmenty) i śpiewów (dwa kolejne) sikory bogatki (*Parus major*); głosy kontaktowe nagrane rejestratorem Olympus LS-100 zimą 2015/2016 w Beskidzie Niskim, śpiewy nagrane mikrofonem kierunkowym wiosną 2014 w Puszczy Niepołomickiej

Ostatnim poważnym problemem w automatycznej identyfikacji ptasich głosów jest dość częste u ptaków zjawisko, jakim jest naśladownictwo głosów innych gatunków ptaków, a także dźwięków otoczenia czy nawet ludzkiej mowy. Do takich gatunków, zwanych gatunkami mimetycznymi, można zaliczyć występujące w Polsce sójki (*Garrulus glandarius*), kruki (*Corvus corax*) czy szpaki (*Sturnus vulgaris*). Rekordzistą w naśladowaniu głosów innych ptaków jest natomiast łożówka (*Acrocephalus palustris*), w której piosenkach wykryto głosy ponad 200 gatunków ptaków z Europy i Afryki [22]. Naśladownictwo jest więc dużą przeszkodą w stworzeniu skutecznego systemu rozpoznającego ptaki wyłącznie po głosach.

4. PODSUMOWANIE

W rozdziale przedstawiono podstawowe metody wykorzystywane w automatycznej identyfikacji głosów ptaków, a także opisano pojawiające się problemy badawcze. Celem automatycznego systemu rozpoznawania głosów ptaków byłoby stworzenie wspomagania monitoringu, które usuwa różnice wynikające z indywidualnych predyspozycji obserwatorów (percepcja dźwięku, doświadczenie). Taki system pozwoliłby także na znaczne zwiększenie częstości i czasu kontroli oraz zredukowanie kosztów. Do wad rozwiązania, w którym system rozpoznawania głosów miałby zastąpić specjalistę, należy zaliczyć fakt, że monitoring odbywałby się w wyznaczonych punktach, a nie na transektach, jak to się dzieje obecnie w większości przypadków. Drugim oczywistym problemem jest pominięcie informacji, którą można uzyskać na podstawie obserwacji – nie jest to jednak tak rażąca kwestia, gdyż szacuje się, że znaczna część ptaków jest wykrywana dzięki ich wokalizacji (z reguły ponad 70%, często 90%) [23]. Taki system mógłby się sprawdzić w szczególnych rodzajach monitoringu, np. w poznaniu lęgowego składu gatunkowego lasu czy trudno dostępnego siedliska (np. bagna, moczary). W innych zaś sytuacjach, np. do monitoringu migrujących ptaków drapieżnych, nie miałby zupełnie zastosowania, gdyż w tym przypadku monitoring opiera się głównie na identyfikacji wizualnej. Przedstawiony artykuł jest pierwszym krokiem do stworzenia systemu wspomagającego monitoring ptaków.

LITERATURA

- [1] Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016–2020, GIOŚ, Warszawa 2015
- [2] <http://www.monitoringptakow.gios.gov.pl/> [data dostępu: 05.02.2016]
- [3] Butler S., Boccaccio L., Gregory R., Vorisek P., Norris K.: Quantifying the impact of land-use change to European farmland bird populations, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 137, 348–357

- [4] <http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/TSDNR100> [data dostępu: 05.02.2016]
- [5] Chodkiewicz T., Kuczyński L., Sikora A., Chylarecki P., Neubauer G., Ławicki Ł., Stawarczyk T.: Ocena liczebności populacji ptaków lęgowych w Polsce w latach 2008–2012, *Ornis Polonica*, 2015, 56, 149–189
- [6] Chylarecki P., Sikora A., Cenian Z. (red.): Monitoring ptaków lęgowych. Poradnik metodyczny dotyczący gatunków chronionych Dyrektywą Ptasią, GIOŚ, Warszawa 2009
- [7] Mporas I., Ganchev T., Kocsis O., Fakotakis N., Jahn O., Riede K.: Automated Acoustic Classification of Bird Species from Real-Field Recordings, materiały konferencyjne IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, Athens, 7–9 November 2012, 778–781
- [8] Kamińska D., Gmerek A.: Automatic identification of bird species: A comparison between kNN and SOM classifiers, materiały konferencyjne 2012 Joint Conference New Trends in Audio & Video and Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (NTAV/SPA), Łódź 27–29 September, 2012, 77–82
- [9] Chou C.H., Liu P.H.: Bird species recognition by wavelet transformation of a section of birdsong, *Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing*, 2009. UIC-ATC'09. Symposia and Workshops on, 7–9 July 2009, 189–193
- [10] Wielgat R., Potempa T., Świętojański P., Król D.: On using prefiltration in HMM-based bird species recognition, 2012 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES), Wrocław, 18–21 September 2012, 1–5
- [11] Wielgat R., Zieliński T.P., Potempa T., Lisowska-Lis A., Król D.: HFCC based recognition of bird species, *Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications*, Poznań, 7 September 2007, 129–134
- [12] Tsai W.-H., Xu Y.-Y., Lin W.-C.: Bird species identification based on timbre and pitch features, 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), San Jose, CA, 15–19 July 2013, 1–6
- [13] Fagerlund S.: Bird Species Recognition Using Support Vector Machines, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2007, 1, DOI: 10.1155/2007/38637
- [14] Jancovic P., Zakeri M., Kokuer M., Russell M.: HMM-based modelling of individual syllables for bird species recognition from audio field recordings, 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), South Brisbane, QLD, 19–24 April 2015, 768–772
- [15] <http://warblr.net/> [data dostępu: 10.02.2016]
- [16] <https://itunes.apple.com/gb/app/bird-song-id-automatic-recognition/id601362210?mt=8> [data dostępu: 10.02.2016]
- [17] <http://merlin.allaboutbirds.org/> [data dostępu: 10.02.2016]
- [18] Pamuła H., Kłaczyński M.: Normy hałasu a słuch ludzi i zwierząt, *Zeszyty Studentckiego Towarzystwa Naukowego*, 2015, 31, 177–183
- [19] Hesler N., Mundry R., Dabelsteen T.: Are there age-related differences in the song repertoire size of Eurasian blackbirds?, *Acta Ethologica*, 2012, 15, 2, 203–210

- [20] Slabbekoorn H., Ripmeeste E.A.: Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation, *Molecular Ecology*, 2008, 17, 1, 72–83
- [21] Nemeth E., Pieretti N., Zollinger S.A., Geberzahn N., Partecke J., Miranda A.C., Brumm H.: Bird song and anthropogenic noise: Vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 1754, DOI: 10.1098/rspb.2012.2798
- [22] Dowsett-Lemaire F.: The imitative range of the song of the marsh warbler *Acrocephalus palustris*, with special reference to imitations of African birds, *Ibis*, 1979, 121, 4, 453–468
- [23] Simons T.R., Pollock K.H., Wettroth J.M., Alldredge M.W., Pacifici K., Brewster J.: Sources of Measurement Error, Misclassification Error, and Bias in Auditory Avian Point Count Data, *Modeling Demographic Processes in Marked Populations*, 2009, 237–254

SOUNDWALKING – METODA BADANIA KRAJOBRAZÓW DŹWIĘKOWYCH

Soundwalking – one of the methods to study soundscapes

Bartosz PIECHOWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
piechowi@student.agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Soundwalking to jedna z metod badania pejzaży dźwiękowych środowiska naturalnego. Wędrówki z rejestratorem i miernikiem poziomu ciśnienia akustycznego pozwalają odkryć bogactwo krajobrazu naturalnego wraz z jego akustyką. Pliki z zarejestrowanymi dźwiękami pochodzącymi ze źródeł różnego typu (geofoniczne, antropofoniczne czy biofoniczne), wraz z analizą zapisanych sygnałów akustycznych, umożliwiają np. utworzenie map szlaków turystycznych uzupełnionych informacjami o ciekawych zjawiskach dźwiękowych na trasie. Pozwalają poznać akustykę miasta z jego charakterystycznymi dźwiękami, czyli dźwiękowymi punktami orientacyjnymi. Stanowią zapis krajobrazu akustycznego odwiedzanych miejsc. W artykule autor przedstawia swoje doświadczenia w badaniach pejzaży akustycznych podczas wycieczki szlakiem górskim w Pieninach.

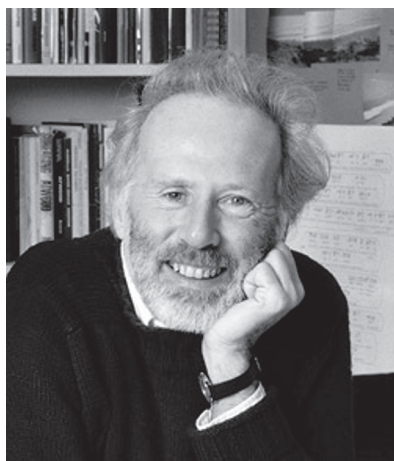
ABSTRACT

Soundwalking is one of the methods to study soundscapes environment. Hiking with a recorder and a sound level meter enables to discover the richness of soundscape filled up with acoustic impressions. The recorded sounds coming from various sources (geophonic, anthrophonic or biophonic) supported by an analysis of those signals, allows for example to create a map of hiking trails enriched with sound information. One can experience the acoustical character of the city with its own peculiar sounds called sound landmarks. They are a record of the soundscape of visited places. In the article the author presents his experience in the study of the soundscape during the trip to Pieniny mountains.

1. WPROWADZENIE

„Kompleks elementów przyrodniczych oraz elementów wprowadzonych przez człowieka na naturalnie ograniczonym obszarze ziemi, będących źródłem aktualnie odbieranych dźwięków, reprezentujących określone cechy estetyczne i odpowiadających za uzupełnianie obrazu o określone informacje” [1] to definicja krajobrazu dźwiękowego (*soundscape*) wprowadzona przez kanadyjskiego pisarza i kompozytora – Raymonda Murraya Schafera (rys. 1). Jest on jednym z pierwszych badaczy zainteresowanych poznawaniem pejzaży dźwiękowych. Swoje przemyślenia zawarł w książce *The Tuning of the World*, z jego inicjatywy została również utworzona grupa badawcza World Soundscape Project (lata 70. XX wieku). Rozwój idei ekologii akustycznej doprowadził do powstania w 1993 r. działającej do dziś organizacji Światowe Forum Ekologii Akustycznej (World Forum for Acoustic Ecology, WFAE), której głównymi celami są edukacja i badania pejzaży dźwiękowych, publikacje w zakresie ekologii akustycznej, ochrona naturalnych krajobrazów akustycznych.

Schafer stwierdził, że krajobraz dźwiękowy jest indywidualny dla każdego regionu, jest częścią „ducha miejsca”. Przemiany elementów pejzażu dźwiękowego są ważnym wskaźnikiem przekształceń krajobrazu naturalnego. Harmonijne krajobrazy dźwiękowe, w których dźwięki przyrody współgrają z dźwiękami kulturowymi, zasługują na ochronę. Występują one zarówno w krajobrazie wiejskim, jak i miejskim.



Rys. 1. Raymond Murray Schafer

Źródło: <http://www.artsalive.ca/en/mus/greatcomposers/schafer/img/Portrait.jpg> [data dostępu: 12.02.2016]

W artykule autor przedstawia swoje doświadczenia zdobyte w badaniach pejzaży akustycznych podczas wędrówek na szlakach górskich oraz zwraca uwagę na elementy składowe krajobrazu dźwiękowego.

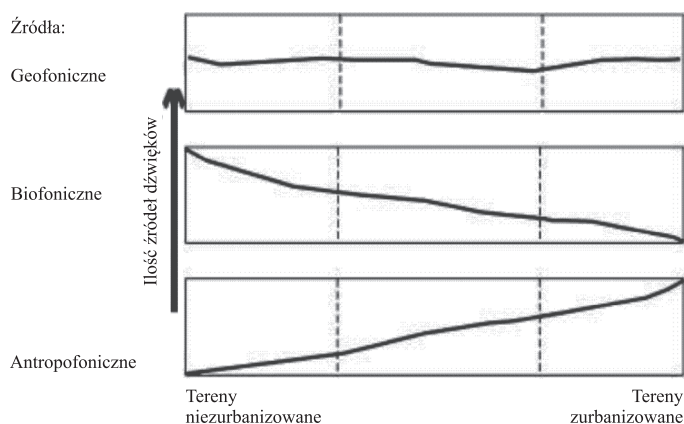
2. METODY BADAŃ KRAJOBRAZÓW DŹWIĘKOWYCH

Badania akustyczne w środowisku naturalnym mogą być prowadzone różnymi sposobami. Ich wyniki można wykorzystać do wytycznych planowania przestrzeni zurbanizowanych, aby tworzyć takie środowisko akustyczne, które byłoby odbierane przez większość ludzi jako przyjemne. Można rejestrować dźwięk, następnie wykonując jego analizy w dziedzinie czasu i częstotliwości, znajdować obiektywne parametry obserwowanych zjawisk akustycznych. Mogą to być przebiegi czasowe sygnałów akustycznych, spektrogramy wydarzeń akustycznych, wartości poziomów dźwięku rejestrowane w celu określenia klimatu akustycznego w środowisku. Można również posłużyć się metodami, które stosowane są do rozpoznawania głosów ptaków lub tworzyć oprogramowania do analiz akustycznych. Stosowane są metody badań do oceny jakości akustycznej środowiska, oceny satysfakcji odbiorcy krajobrazu dźwiękowego, oceny percepcji krajobrazów dźwiękowych przez człowieka. W zakres takich badań wchodzi również monitoring akustyczny, mapowanie akustyczne badanych obszarów, ocena hałasu na terenach rekreacyjnych, w tym w parkach miejskich. Jedną z metod są również spacerowanie terenowe, pozwalające na słuchanie dźwięków otoczenia – *soundwalking*.

Wędrówki, których celem jest nasłuchiwanie dźwięków otoczenia, pozwalają odkryć bogactwo krajobrazu dopełnionego wrażeniami akustycznymi. Zarejestrowane dźwięki

pochodzące z różnych źródeł naturalnych i związanych z działalnością człowieka nie tylko urozmaicają podróż, ale też pomagają dostrzec to, co w pośpiechu dnia codziennego umyka, na przykład różnorodność odgłosów zwierząt, śpiewu ptaków, szumów drzew i inne. Planowana podróż typu *soundwalking* powinna mieć temat przewodni, opisany zestawem dźwięków najbardziej charakterystycznych i najlepiej oddających naturę miejsca wędrówki. W temacie przewodnim można wyodrębnić sygnały dźwiękowe – dźwięki percepcyjne, będące tłem kompozycji. Kolejnym elementem jest dźwiękowy punkt orientacyjny – jeden dźwięk charakterystyczny dla danego środowiska. Pomaga on w rozpoznawaniu charakterystycznych cech otoczenia. Często, podczas spaceru po swojej okolicy, podświadomie zaznacza się dźwiękowe punkty orientacyjne jak na przykład charakterystyczna melodia dzwonka w drzwiach sklepu, obok którego się przechodzi. Spaceru połączone z wsłuchiwaniem się w otoczenie umożliwiają poznanie charakteru akustycznego miasta z jego własnymi osobliwymi dźwiękami, ale również i innych miejsc takich jak szlaki górskie czy turystyczne.

Soundwalking pozwala na bezpośrednie doświadczenie dźwięków otoczenia. Wędrować można w grupie bądź samodzielnie, a jego celem jest dokumentacja zarejestrowanych dźwięków. Obserwacje mogą być prowadzone wieloma sposobami. Począwszy od rejestrowania każdego dźwięku ingerującego w słyszalne tło, poprzez wybiórcze rejestrowanie interesujących dźwięków na trasie spaceru, a skończywszy na stworzeniu tylko opisu miejsc, gdzie jakieś zdarzenie akustyczne można usłyszeć. Zarejestrowane nagrania, oprócz celów dokumentacyjnych, umożliwiają obserwacje zmian, jakie zachodzą w określonych przedziałach czasowych w otaczającej nas przyrodzie. Wynika stąd, że *soundwalking* stanowi ważne narzędzie ekoakustyki, czyli ekologii akustycznej. Wiele zjawisk, których natura przejawia się dźwiękiem, powinno być monitorowanych, ponieważ wyniki ich analizy mogą być wykorzystane w wielu dziedzinach nauk, np. biologii, ekologii, genetyki i innych. Odpowiednie programy ochrony przeciwhałasowej pozwolą na zachowanie równowagi akustycznej w naturze (rys. 2).



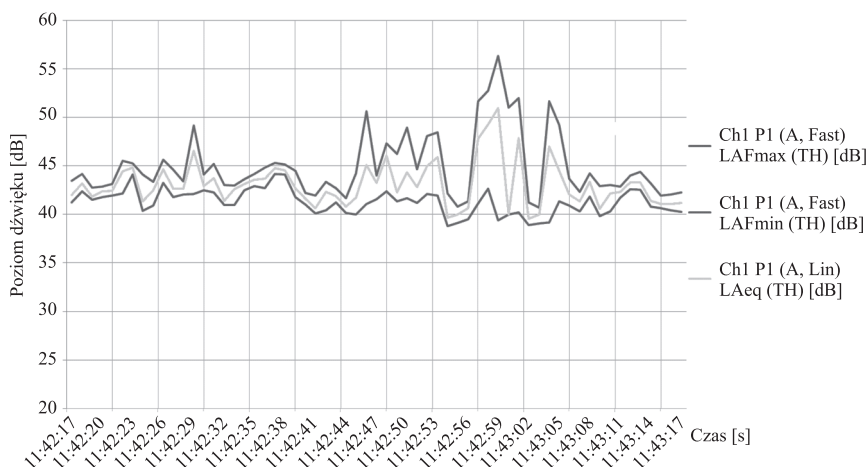
Rys. 2. Zależność między stopniem zurbanizowania a częstotliwością występowania danych źródeł dźwięku [2]

Krajobraz dźwiękowy kształtują trzy źródła: geofoniczne, biofoniczne i antropofoniczne. Pierwsze źródło to wszelkiego typu akustyczne zjawiska atmosferyczne, geologiczne i inne naturalne czynniki niezwiązane z przyrodą ożywioną. Wymienia się w tej grupie takie zjawiska jak deszcz, burza, szum wiatru, szum fal, ale też tornada, trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów, powodzie, lawiny itp. Biofonia to wszystkie dźwięki wydawane przez naturę ożywioną, wszelkie śpiewy ptaków i odgłosy innych zwierząt, ale też np. odgłosy spadających liści. Do ostatniej grupy zalicza się wszystkie dźwięki generowane przez człowieka i związane z jego działalnością. Te trzy źródła tworzą klimat akustyczny w danym miejscu, ale też w danym czasie. Szczególnie źródła biofoniczne często zależą od różnych czynników jak pora dnia czy roku. Dodatkowo wszystkie wzajemnie na siebie oddziałują. Największy wpływ na krajobraz akustyczny mają interakcje źródeł geofonicznych i biofonicznych, ale również źródła antropofoniczne. Na przykład podczas burzy zarówno zwierzęta, jak i ludzie ograniczają swoją aktywność w otwartej przestrzeni. Jednakże można wskazać pewną zależność między miejscem badań a rodzajem badanego wzorca akustycznego (rys. 2). W miejscach niezurbanizowanych (lasy, góry) źródła antropofoniczne nie występują bądź mają minimalne oddziaływanie, a klimat akustyczny tworzą źródła biofoniczne, zaś w miejscach zurbanizowanych odwrotnie. Tylko dźwięki pochodzenia geofonicznego występują niezależnie od charakterystyki terenu. Ich oddziaływanie jest podobne tak na terenach zurbanizowanych, jak i niezurbanizowanych.

3. SOUNDWALKING SZLAKIEM TURYSTYCZNYM

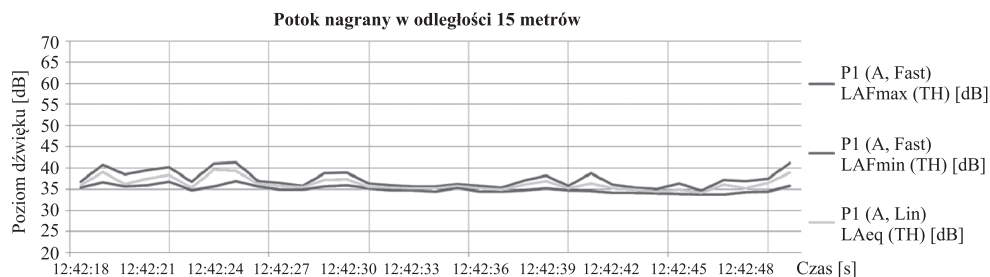
Celem wędrowki była próba stworzenia mapy dźwiękowej szlaku górskiego. Wykorzystano miernik poziomu ciśnienia akustycznego SVAN 971 z mikrofonem wszechkierunkowym z osłoną przeciwwietrzną, umożliwiającą analizę dźwięków i zapis sygnałów akustycznych w postaci plików „wave”. Na szlaku interesujące było zarejestrowanie sygnałów akustycznych występujących w charakterystycznych miejscach szlaku, które można zidentyfikować na mapie terenu, lub takich dźwięków, które byłyby reprezentatywne dla miejsca ich występowania. Mapa taka zachęca do zwrócenia uwagi na odgłosy przyrody, aby turysta wybierając się na szlak, mógł zapoznać się z określonymi wydarzeniami akustycznymi, które może napotkać. Pozwala to na przygotowanie się na odbiór wrażeń, których bez wcześniejszych informacji można nie dostrzec.

Poniżej autor opisuje kilka wybranych efektów akustycznych usłyszanych i zarejestrowanych podczas wędrowki szlakiem górskim w Pieninach. Wędrowka rozpoczęła się stromym podejściem z obrzeża Krościenka nad Dunajcem. Na granicy lasu rozciągał się wspaniały widok na miasteczko położone w dolinie Dunajca. Jednak ucho zarejestrowało odgłosy hałasu komunikacyjnego pochodzącego od stosunkowo ruchliwej drogi przechodzącej przez miasteczko. Na odgłosy hałasu samochodów nakładały się w odstępach czasu odgłosy piły do drewna, używanej przez jednego z mieszkańców. Zmienność w czasie poziomów dźwięku A w tym punkcie obserwacji pokazana jest na rysunku 3.

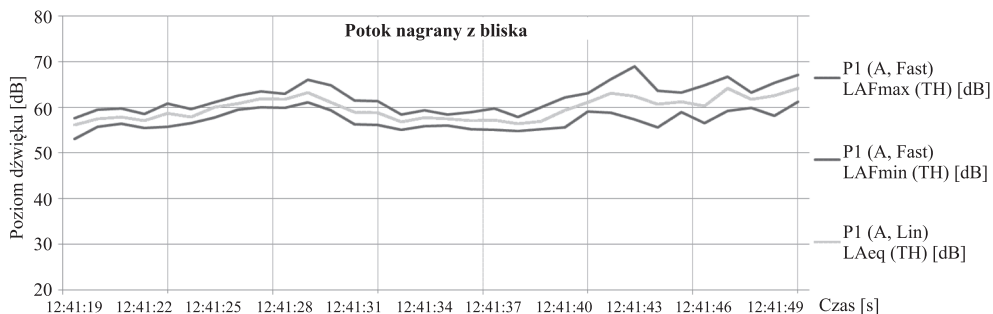


Rys. 3. Przebieg czasowy poziomu dźwięku A w punkcie na początku szlaku

Kolejnym punktem wędrówki była zaciszna, mała dolinka ze strumykiem. W odległości około 15 m był ledwie słyszalny ($L_A = 35$ dB) (rys. 4), zaś blisko strugi wody, w odległości 1 m, poziom dźwięku L_A wzrósł do około 60 dB (rys. 5).

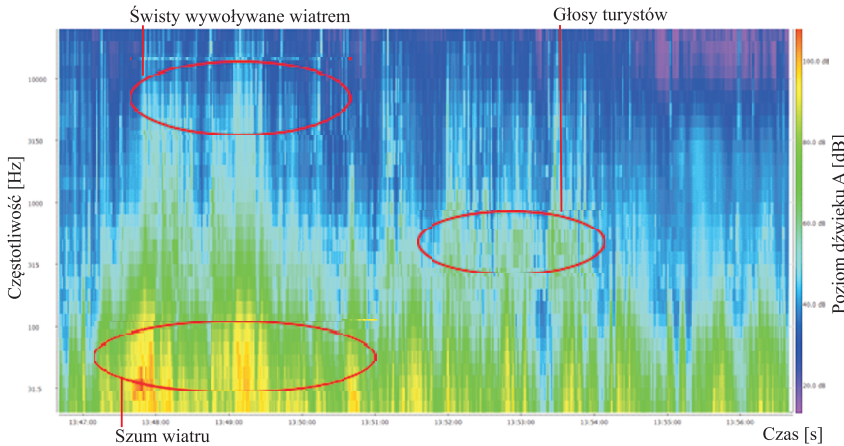


Rys. 4. Przebieg czasowy z odległości piętnastu metrów od potoku



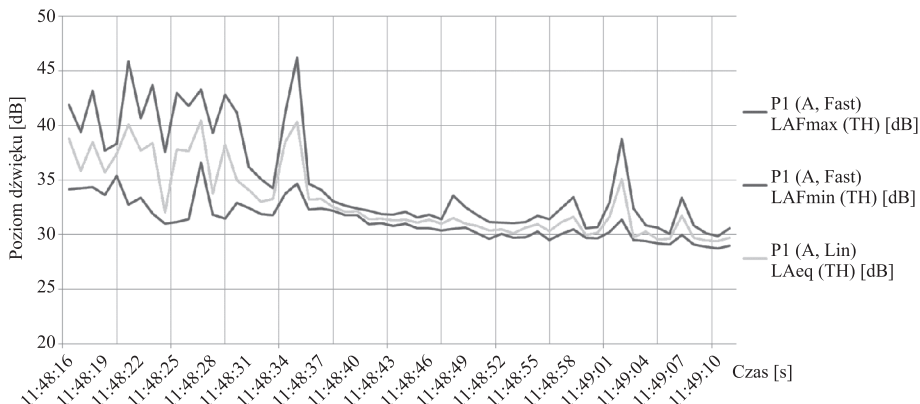
Rys. 5. Przebieg czasowy z odległości jednego metra od potoku

Na szczycie Trzech Koron dominującym zjawiskiem dźwiękowym były odgłosy intensywnych porywów wiatru. Na spektrogramie sygnału akustycznego ze szczytu Trzech Koron (rys. 6) widać, że pośród szumu wiatru (w niskich częstotliwościach stosunkowo wysokie poziomy ciśnienia akustycznego) wyraźnie widoczne są plamy kolorów odpowiadające głosom turystów (częstotliwości od 500 Hz do około 3 kHz – poziomy dźwięku L_A około 70 dB).



Rys. 6. Spektrogram wydarzeń akustycznych zarejestrowanych na szczycie Trzech Koron. Na czerwono zaznaczono następujące zjawiska akustyczne: szum wiatru, świsty wywoływane wiatrem, głosy turystów

Zmiana warunków akustycznych podczas wędrówki w lesie przedstawiona jest na rysunku 7. Część ścieżki nagrania stanowiły dźwięki marszu w ciszy lasu, a następnie dźwięki podczas postoju. To samo zdarzenie zilustrowane jest na histogramie pokazującym procentowy rozkład poziomów dźwięku L_A w zarejestrowanym przedziale czasowym (rys. 8).



Rys. 7. Przebieg czasowy poziomów dźwięku A podczas nagrania wędrówki w lesie. Do 11:48:37 marsz, od 11:48:37 postój, z zarejestrowanymi porywami wiatru

[illegible]

Źródło: <http://www.stat.gov.pl/eng/content/tables/2012/02/stat.gov.pl/eng/tables/2012/02/1202001.pdf>

Tego typu mapa pozwala na uzyskanie informacji o możliwych wystąpieniach zdarzeń akustycznych w określonych miejscach szlaku i ułatwia turyście zaplanowanie wędrówki i wybór miejsc, które ze względu na pejzaż lub krajobraz dźwiękowy chciałby odwiedzić.

4. PODSUMOWANIE

Soundwalking jest narzędziem poznawczym i edukacyjnym pomagającym odkrywać akustyczne walory środowiska naturalnego. Początkowo wymaga odpowiedniego treningu, by nauczyć się wsłuchiwać w otoczenie. Jednak później skutkuje niezwykle ciekawymi doświadczeniami, którymi chcemy podzielić się z innymi ludźmi. *Soundwalking* wiąże się z rejestracją zjawisk akustycznych, a badania można prowadzić zarówno w środowisku miejskim, na terenach peryferii miast, jak i na szlakach górskich. Takie badania mają duże znaczenie edukacyjne i społeczne, ponieważ pozwalają na utrwalenie dźwięków środowiska, które zmieniają się bądź zanikają na skutek przemian społecznych i gospodarczych.

Na podstawie przeprowadzonych badań autor wykonał mapę akustyczną szlaków turystycznych w Pieninach. Kolejna wyprawa w Gorce pozwoliła na przygotowanie mapy czerwonego szlaku na Turbaczu.

Projekt będzie kontynuowany, a w wyniku jego realizacji będzie możliwe świadome korzystanie z zasobów środowiska odbieranych zarówno zmysłem wzroku, jak i zmysłem słuchu. Projekt pozwoli też na upowszechnienie fonografii *soundwalkingu* w ekoakustyce.

LITERATURA

- [1] Schafer R.M.: *The Tuning of The World*, New York 1977
- [2] Farina A.: „*Soundscape Ecology*” Principles, Patterns, Methods and Applications, Dordrecht – Heidelberg – New York – London 2014
- [3] Piechowicz J., Ozga A., Mleczko D., Kasprzak C., Stryczniewicz L.: *Ekologia akustyczna na obszarach leśnych*, KMiW AGH, Kraków 2015

