

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Wydział Fizyki

Praca magisterska

*Słuchawkowa i ambisoniczna subiektywna ocena bodźców
środowiskowych. Oprogramowanie i analiza wyników.*

Kacper Wojaczek

Praca na kierunku Akustyka
wykonana pod kierunkiem
prof. dr hab. Aleksandra Sęka
Opiekun pracy
dr Jędrzej Kociński



Poznań 2016

Poznań, dnia

OŚWIADCZENIE

Ja, niżej podpisany Kacper Wojacek student Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oświadczam, że przedkładaną pracę dyplomową pt: „Słuchawkowa i ambisoniczna subiektywna ocena bodźców środowiskowych. Oprogramowanie i analiza wyników.” napisałem samodzielnie. Oznacza to, że przy pisaniu pracy, poza niezbędnymi konsultacjami, nie korzystałem z pomocy innych osób, a w szczególności nie zlecałem opracowania rozprawy lub jej części innym osobom, ani nie odpisywałem tej rozprawy lub jej części od innych osób.

Oświadczam również, że egzemplarz pracy dyplomowej w wersji drukowanej jest całkowicie zgodny z egzemplarzem pracy dyplomowej w wersji elektronicznej.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że przypisanie sobie, w pracy dyplomowej, autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzego utworu lub ustalenia naukowego stanowi podstawę stwierdzenia nieważności postępowania w sprawie nadania tytułu zawodowego.

[TAK]* - wyrażam zgodę na udostępnianie mojej pracy w czytelni Archiwum UAM

[TAK]* - wyrażam zgodę na udostępnianie mojej pracy w zakresie koniecznym do ochrony mojego prawa do autorstwa lub praw osób trzecich

*Należy wpisać TAK w przypadku wyrażenia zgody na udostępnianie pracy w czytelni Archiwum UAM, NIE w przypadku braku zgody. Niewypełnienie pola oznacza brak zgody na udostępnianie pracy.

.....
(czytelny podpis studenta)

Streszczenie

W naturalnym środowisku człowiek percypuje przede wszystkim bodźce akustyczne o złożonej strukturze, zupełnie inne w swej naturze od stosowanych klasycznie w badaniach psychoakustycznych. W najnowszych badaniach zatem pojawia się tendencja do stosowania dźwięków jak najbardziej zbliżonych do tych, z którymi można spotkać się na co dzień. Zastosowanie tego typu bodźców prowadzi również do konieczności weryfikacji klasycznej metody prezentacji eksperymentów, jaką jest metoda słuchawkowa i porównania jej z metodą ambisoniczną, która została stworzona do odtwarzania pola akustycznego w zarejestrowanym punkcie i która w związku z tym może być właściwszym sposobem prezentacji naturalnych bodźców środowiskowych. Przedmiotem niniejszej pracy było zbadanie różnic w ocenach dokuczliwości środowiskowych bodźców dźwiękowych przy odsłuchu ambisonicznym oraz słuchawkowym oraz wpływ czynników takich jak wykształcenie z reżyserii dźwięku oraz preferencje odsłuchowe na badane różnice.

Hipotezy badawcze zakładały istotny wpływ sposobu prezentacji bodźca na ocenę dokuczliwości bodźca, obniżenie oceny dokuczliwości przy odsłuchu preferowanym przez danego słuchacza oraz istotny wpływ studiów z reżyserii dźwięku na dokonywane oceny.

W ramach pracy zostało przygotowane oprogramowanie do wykonania eksperymentów oraz przeprowadzono dwuczęściowe badanie polegające na prezentacji tych samych bodźców dźwiękowych słuchaczom przy użyciu odsłuchu słuchawkowego i ambisonicznego. Badani za każdym razem oceniali dokuczliwość prezentowanego bodźca. Następnie udzielali odpowiedzi, który z użytych sposobów prezentacji według nich lepiej odwzorowywał środowisko naturalne.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów zweryfikowały pozytywnie założone hipotezy badawcze dotyczące istotnych różnic między sposobami prezentacji bodźców i wpływu studiów z reżyserii dźwięku na te różnice, natomiast nie potwierdziły istnienia efektu zmniejszenia dokuczliwości bodźca przy zgodności aktualnego sposobu prezentacji z deklarowaną preferencją.

Abstract

In natural environment people perceive acoustic stimulus that is complex in its nature and very different from classic stimulus used in psychoacoustic research. New experiments tend to utilize sounds that are as similar as possible to those that humans encounter in their everyday lives. Usage of such stimulus however makes it necessary to verify the usefulness of classic, headphone based presentation method. What is more, it should be compared with playback through an ambisonic system, as it was created to accurately reproduce acoustic field in a chosen point. Therefore it can be a more appropriate method of presentation for environmental sound stimuli.

The purpose of this thesis was to assess the differences in annoyance ratings for environmental stimuli between the ambisonic and headphone based playback method as well as influence of listener preference and sound engineering background on those differences.

Hypotheses of this research assume a significant influence of the playback method on annoyance ratings for all stimuli, as well as reduction of annoyance for the presentation method preferred by the listener and a significant influence of sound engineering background on differences between annoyance ratings for playback methods.

In order to verify the hypotheses, software was prepared and experiments were carried out as follows: the listeners were presented with the same stimuli on headphones and on an ambisonic playback system and were asked to rate the annoyance in both cases. Furthermore, they were asked to assess which of the playback methods was better at mimicking a natural sound environment.

The results of aforementioned experiments confirmed the established hypotheses concerning the influence of playback method on stimuli annoyance rating as well as the influence of sound engineering background on the differences in annoyance ratings. The hypothesis concerning the reduction of annoyance rating caused by listener preference was not confirmed.

Spis treści

1.	Wstęp	7
2.	Część teoretyczna.....	9
2.1.	Krajobraz dźwiękowy.....	9
2.2.	Metody odsłuchowe	14
2.2.1.	Odsłuch binauralny.....	15
2.2.2.	Odsłuch ambisoniczny.....	16
3.	Cel pracy.....	20
4.	Oprogramowanie eksperymentu	22
4.1.	Obsługa plików wejściowych i wyjściowych	22
4.1.1.	Pliki wejściowe	22
4.1.2.	Pliki wyjściowe.....	23
4.2.	Logika eksperymentu.....	23
4.3.	Graficzny interfejs użytkownika	24
4.3.1.	Panel konfiguracji eksperymentu.....	25
4.3.2.	Panel instrukcji	26
4.3.3.	Panel odpowiedzi słuchacza.....	26
4.3.4.	Panel pytania o preferencję	27
5.	Opis części eksperymentalnej	27
5.1.	Opis aparatury	27
5.2.	Wybór bodźców.....	29
5.3.	Kalibracja systemu	30
5.4.	Eksperymenty	32
5.4.1.	Eksperyment I – ocena dokuczliwości bodźców środowiskowych	32
5.4.2.	Eksperyment II – preferencje słuchaczy dotyczące rodzaju prezentacji.....	34

5.4.3.	Wpływ studiów z reżyserii dźwięku na wyniki	35
5.4.4.	Analiza statystyczna wyników	37
6.	Wnioski	39
7.	Podsumowanie	41
8.	Bibliografia.....	42
9.	Dodatek A – Kod aplikacji.....	44
10.	Dodatek B - Wyniki testów post hoc	52

1. Wstęp

Badania nad krajobrazem dźwiękowym zyskują coraz większą popularność wśród badań naukowych na całym świecie. Są one bardzo istotne z tego względu, że pozwalają na badanie reakcji ludzkich na rzeczywiste bodźce, w przeciwieństwie do klasycznych sygnałów stosowanych w psychofizyce, takich jak szumy, tony, czy wielotony. Przy takim podejściu to człowiek jest podmiotem badań, a najistotniejszym elementem są jego interakcje ze środowiskiem. Przeprowadzanie eksperymentów w taki sposób niesie jednak ze sobą pewne konsekwencje- nie jest możliwa ich obiektywna ocena oraz utrudniona jest kontrola warunków eksperymentalnych. Badacze mają dostęp jedynie do subiektywnych ocen słuchaczy, takich jak ocena dokuczliwości danych bodźców, czy też ich przyjemności. Co więcej, muszą wybierać między zupełnie niemożliwymi do pełnego skontrolowania badaniami in situ, a badaniami laboratoryjnymi, w których wpływ sposobu prezentacji na uzyskiwane wyniki nie jest zbadany.

Głównym celem niniejszej pracy była analiza wpływu sposobu prezentacji na oceny dokuczliwości bodźców środowiskowych. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu miały pozwolić na stwierdzenie, czy wspomniane oceny różnią się istotnie pomiędzy odsłuchem słuchawkowym binauralnym a ambisonicznym. Pierwszy z wymienionych sposobów prezentacji jest klasycznym, stosowanym od dawna w psychofizyce, natomiast drugi cieszy się mniejszą popularnością, ze względu na trudność realizacji, ale budzi nadzieję na bardziej wierne odtworzenie naturalnego krajobrazu dźwiękowego przy jednoczesnej kontroli prezentowanych bodźców.

Za pomocą specjalnie przygotowanego oprogramowania oraz eksperymentu psychofizycznego poddano weryfikacji następujące tezy badawcze:

1. Subiektywna ocena dokuczliwości bodźca dokonana przez słuchacza różni się istotnie w zależności od rodzaju prezentacji.
2. Preferencja słuchacza dotycząca rodzaju prezentacji bodźca zmniejsza ocenę dokuczliwości bodźców.
3. Słuchacze posiadający wykształcenie w dziedzinie reżyserii dźwięku, przyzwyczajeni do częstej pracy w słuchawkach, będą inaczej oceniać dokuczliwość bodźców w zależności od rodzaju prezentacji niż pozostała grupa słuchaczy.

Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły na weryfikację i potwierdzenie powyższych tez, jednak doprowadziły też do wskazania nowych problemów wartych analizy.

Poniższa praca składa się z trzech części: teoretycznej, programistycznej oraz eksperymentalnej. Część teoretyczna zawiera zwięzły opis zagadnień związanych z pojęciem krajobrazu dźwiękowego oraz techniki binauralnej i ambisonicznej. Definicje i opisy zostały przedstawione w oparciu o dotychczasowe wyniki badań skorelowanych z poruszaną w pracy tematyką. Druga część pracy zawiera dokładny opis przygotowanego przez autora niniejszej pracy magisterskiej oprogramowania, za pomocą którego przeprowadzono eksperyment. W części trzeciej natomiast znajduje się opis oraz sposób przeprowadzenia eksperymentu wraz z analizą otrzymanych wyników. W ostatnim rozdziale przeprowadzono dyskusję wyników oraz zaproponowano kierunki dalszych badań.

2. Część teoretyczna

2.1. Krajobraz dźwiękowy

Krajobraz dźwiękowy (ang. *soundscape*¹), rozumiany jako całkowite środowisko akustyczne w danym miejscu, to pojęcie stworzone przez Murraya Schafera (1977). Definicja ta bierze pod uwagę złożony zbiór relacji między ludźmi a odbieranymi przez nich dźwiękami. Nie jest to jednak pojęcie bardzo ściśle zdefiniowane, a co za tym idzie badania nad nim mogą być i są prowadzone przez wiele różnych gałęzi nauki. Do soundscape'u wplata się również inne aspekty interakcji człowieka ze środowiskiem, począwszy od architektonicznej i socjologicznej struktury obszaru badanego, a kończąc na parametrach akustycznych i wizualnych danego miejsca. Badacze krajobrazów dźwiękowych często przyjmują własną ich definicję na potrzeby swoich badań, odbiegając w mniejszym lub większym stopniu od oryginalnego pomysłu Schafera. Axelsson stwierdza, że soundscape istnieje w percepcji człowieka, zawsze w kontekście konkretnego czasu, miejsca i aktywności (Axelsson, 2011). Inaczej akcenty rozkładu Truax (1999), dla którego w definicji soundscape'u najważniejsze jest to, jak człowiek odbiera i rozumie dźwięk, który do niego dociera. Można też rozumieć krajobraz dźwiękowy wprost jako odpowiednik krajobrazu wzrokowego. Ten brak jednoznacznie sformułowanej i powszechnie akceptowanej definicji prowadzi również do problemów w stworzeniu spójnej metody badania i oceny krajobrazów dźwiękowych. W konsekwencji utrudnia to badaczom zaproponowanie powszechnie akceptowanej alternatywy do klasycznej akustyki środowiskowej, opartej na wskaźnikach obiektywnych. Naukowcy wykazują jednak, że równoważny poziom dźwięku (L_{AeqT})- powszechnie uznawany i stosowany wskaźnik obiektywny- nie jest wystarczający do oceny dokuczliwości różnych rodzajów dźwięku (Plack, 2010). Nie ulega wątpliwości, że wskaźniki takie jak L_{AeqT} oraz percypowana głośność są ze sobą skorelowane. Istnieje również korelacja pomiędzy głośnością, a oceną dokuczliwości środowiska akustycznego. Niestety oceny tej nie można dokonywać jedynie za pomocą wskaźnika L_{AeqT} , gdyż nie uwzględnia ona dostatecznie parametrów widmowych i czasowych dźwięku, takich jak ostrość (ang. *sharpness*) i chropowatość (ang. *roughness*) (Axelsson, Nilsson i Berglund, 2010; Brambilla i Maffei, 2006;

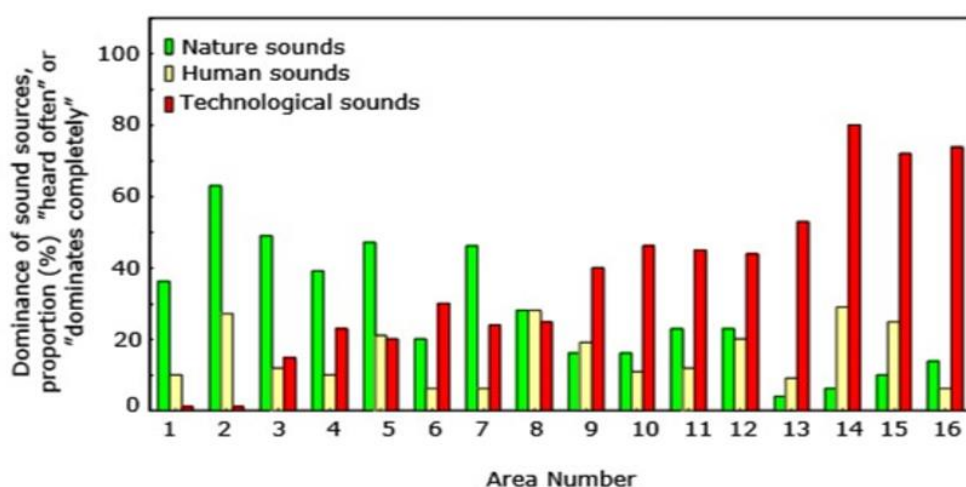
¹ Ze względu na powszechność używania angielskiej nazwy w badaniach naukowych w niniejszej pracy stosuje się zamiennie określenie „krajobraz dźwiękowy” oraz „soundscape” z uwzględnieniem jego formy gramatycznej w języku polskim.

Dittrich i Oberfeld, 2009). Podejście soundscape'owe do oceny dokuczliwości dźwięków daje możliwość uwzględnienia elementów związanych z subiektywną oceną słuchacza. Na tę ocenę wpływa również nastawienie słuchacza do percypowanego dźwięku. Im bardziej jest on oczekiwany, pasujący do kontekstu, tym mniejsza jest jego dokuczliwość (Brambilla & Maffei, 2006). W tego typu badaniach krajobraz dźwiękowy definiuje się najczęściej przez analogię do krajobrazu wzrokowego, jako wszystkie dźwięki docierające do słuchacza. Brown określa soundscape jako środowisko akustyczne danego miejsca lub obszaru, percypowane przez ludzi, którego charakter wynika z interakcji między ludzkimi i naturalnymi czynnikami (Brown, 2011). W ten sposób w pojęciu krajobrazu dźwiękowego możliwe jest zawarcie różnego typu miar oceny, zarówno obiektywnych, fizycznych, takich jak równoważny poziom dźwięku, percepcyjnych, takich jak dokuczliwość, czy kognitywnych, takich jak skojarzenia.

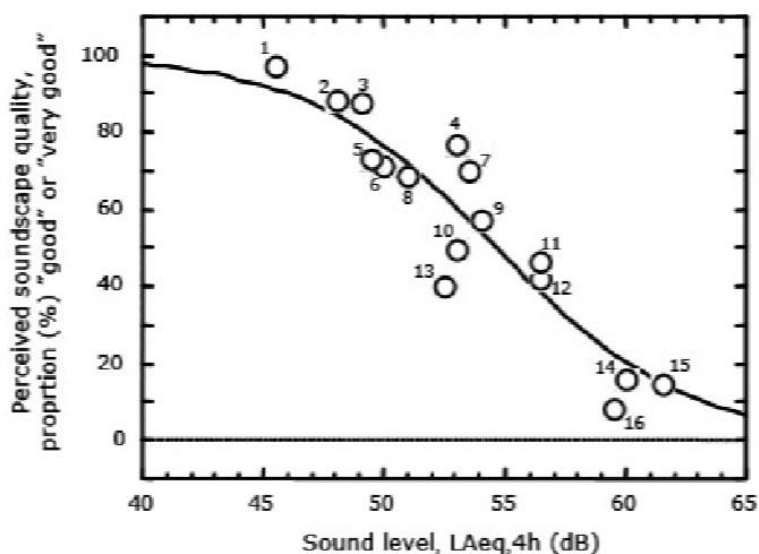
Zjawiska zachodzące przy percepcji krajobrazu dźwiękowego są na tyle złożone i wielowymiarowe, że naukowa charakterystyka wszystkich czynników, które się na niego składają, przysparza wielu problemów. Jednym z możliwych podejść jest analiza poszczególnych bodźców akustycznych pojawiających się w badanym otoczeniu. W swojej pracy Kang (2007) użył 18 skal semantycznych dla 223 obiektów w dwóch miastach. Na podstawie źródeł dźwięku występujących w danym otoczeniu wyznaczył on 4 kategorie oceny krajobrazu dźwiękowego: możliwość odpoczynku (*relaxation*), komunikacja (*communication*), przestrzenność (*spatiality*) oraz dynamikę (*dynamics*).

Wpływ rodzaju źródeł na oceny soundscape'u został dobrze pokazany w badaniach przeprowadzonych w Szwecji w latach 2004-2006 (Nilsson, 2007). Zostały one przeprowadzone w parkach i terenach zielonych w Sztokholmie. Badani mieli za zadanie wypełnienie ankiety w czasie, kiedy przebywali w konkretnej lokalizacji. Odpowiadali zarówno na pytania dotyczące oceny komfortu akustycznego w danym miejscu, jak również częstości występowania i oceny źródeł dźwięku, które postrzegali. Badane obszary pozamiejskie uzyskały bardzo wysoką ocenę komfortu akustycznego, gdyż aż 80% słuchaczy odpowiadało, że warunki akustyczne były bardzo dobre. W parkach miejskich natomiast procent słuchaczy wystawiających ocenę bardzo dobrą mieścił się w granicach od 53% do 65% dla pierwszego badania i od 9% do 77% dla drugiego. Słuchacze zwrócili uwagę na obecność źródeł dźwięku nie pochodzących ze środowiska naturalnego, takich jak samochody, wentylatory, czy hałas uliczny. W parkach miejskich aż 70% słuchaczy stwierdziło, że występują one często, natomiast

w obszarach pozamiejskich było to jedynie 40%. W obu rodzajach badanych obszarów aż 80% słuchaczy uznało za często występujące dźwięki natury. Były one odbierane pozytywnie, w przeciwieństwie do dźwięków mechanicznych, ale nie były w stanie skompensować dyskomfortu wywoływanego tymi drugimi. Dokładna analiza źródeł dźwięku obecnych w krajobrazie dźwiękowym pokazuje, że dźwięki aktywności ludzkiej (mowa, kroki) stanowią najbardziej neutralnie ocenianą przez słuchaczy kategorię bodźców akustycznych. Dźwięki mechaniczne powodują obniżenie komfortu akustycznego, natomiast dźwięki naturalne go podnoszą (Rysunek 1). Nilsson pokazał również, że przy ocenie krajobrazu dźwiękowego większą rolę odgrywa charakterystyka źródeł dźwięku niż poziom dźwięku (Rysunek 2).



Rysunek 1. Procent słuchaczy oceniających źródło dźwięku, jako występujące często lub bardzo często. Obszary uporządkowane są od lewej do prawej zgodnie z malejącą oceną komfortu (Nilsson, 2007)



Rysunek 2. Zależność oceny komfortu badanych obszarów od zmierzonych poziomów dźwięku. Cyframi od 1-16 oznaczone są poszczególne badane lokalizacje. (Nilsson, 2007)

Z przytoczonych badań można wywnioskować, że poza zakresem poziomu dźwięku od 50-55 dBA ocena komfortu krajobrazu dźwiękowego jest od niego mocno zależna i rośnie wraz z jego spadkiem. W zakresie 50-55 dBA oceny komfortu przestają jednak zależeć od poziomu dźwięku. Najistotniejszym czynnikiem, na podstawie którego słuchacze rozstrzygają ocenę danego soundscape'u staje się zawartość konkretnych źródeł dźwięku, które w zależności od swojego charakteru mogą swoją obecnością powodować zwiększenie lub zmniejszenie komfortu.

Eksperymenty dotyczące soundscape'u przeprowadzane są również w warunkach laboratoryjnych. Takimi właśnie były badania na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza dotyczące oceny komfortu miejskich krajobrazów dźwiękowych (Preis, et al., 2015). Słuchaczom prezentowano nagrania audiowizualne obszarów miasta Poznania. Wyróżniono cztery sposoby prezentacji: słuchowy, wzrokowy, wzrokowo-słuchowy oraz mieszany wzrokowo-słuchowy. W badaniach pokazano, że na ocenę komfortu silniej wpływa bodziec słuchowy niż wzrokowy, co sugeruje, że do poprawy komfortu akustycznego obszarów miejskich konieczna jest ingerencja przede wszystkim w krajobraz dźwiękowy. Eksperyment nie wykazał statystycznie istotnych różnic między oceną komfortu przy prezentacji słuchowej i wzrokowo-słuchowej.

Badania mające na celu kategoryzację i ocenę podobieństwa pomiędzy dźwiękami występującymi w środowisku przeprowadzał Gygi wraz ze współpracownikami (2007). Do eksperymentów wykorzystano 50 dźwięków, wśród których znalazły się między innymi śpiew ptaków, przelot samolotu, odgłos deszczu, czy też dźwięk pisania na klawiaturze i cięcia papieru. Opierając się na czasie trwania, wysokości dźwięku oraz zawartości niskoczęstotliwościowych składowych wyodrębniono trzy grupy dźwięków: harmoniczne, ciągłe i impulsowe. Badanie kategoryzacji źródeł dźwięku wykazało, że słuchacze najczęściej korzystali z kategorii: dźwięki ludzi i zwierząt, pojazdów, muzyczne oraz związane z aktualną pogodą. Podobne wnioski pojawiają się w pracy dotyczącej badań nad projektowaniem obszarów wypoczynkowych (Pheasant, et al., 2010). Autorzy przeprowadzili eksperymenty na reprezentatywnej dla brytyjskiego społeczeństwa grupie. Celem ich była ocena krajobrazów miejskich i naturalnych. Wzrokowa część eksperymentu pokazała, że opinie badanych były bardzo zbliżone i że najlepiej oceniane są krajobrazy zawierające elementy naturalne. Obecność innych ludzi powoduje natomiast zmniejszenie komfortu przebywania w danym

miejscu. Słuchowa część eksperymentu potwierdziła te rezultaty, a także pokazała, że ocena wzrokowa miejsca jest na ogół korzystniejsza niż słuchowa. Chau, Tang i Li chcieli pokazać, że obecność terenów zielonych może powodować zmniejszenie dokuczliwości hałasu miejskiego (Li, et al., 2010). W tym celu wykorzystano kwestionariusze prosząc o ich wypełnienie dużą i zróżnicowaną grupę społeczną. Analiza ankiet wykazała, że brak terenów zielonych rzutuje negatywnie na ocenę komfortu na terenach mieszkalnych. Okazało się jednak, że obecność terenów zielonych nie była decydującym czynnikiem w ocenie dokuczliwości, gdyż podobnie środowisko oceniali mieszkańcy terenów bardzo i średnio zazielenionych. Badania prowadzone przez Dubois i in. (2006) prezentowały natomiast podejście kognitywne do koncepcji soundscape'u. Miały one na celu wypełnienie luki pomiędzy indywidualną kategoryzacją a reprezentacją socjologiczną. Zadaniem słuchaczy była kategoryzacja nagrań dźwięków życia codziennego. Eksperyment pokazał rozbieżności w ocenie bodźców w zależności od wykształcenia. Akustycy mieli tendencję do dzielenia dźwięków ze względu na fizyczne parametry, natomiast pozostali ludzie kierowali się podobieństwem barwy czy podobieństwem samych źródeł dźwięku. Analiza wyników doprowadziła do wyodrębnienia dwóch głównych kategorii bodźców akustycznych występujących w krajobrazach dźwiękowych: dźwięki tła oraz wydarzenia akustyczne. Drugą z tych grup można kategoryzować dalej ze względu na typ źródła oraz ocenę jakości. Dźwięki tła również zostały przeanalizowane ze względu na ocenę komfortu oraz ocenę ich parametrów fizycznych. Badania wykazały, że dźwięki mechaniczne, mające swoje źródło w ruchu drogowym i urządzeniach przemysłowych, są generalnie uznawane za nieprzyjemne, natomiast bodźce pochodzące od ludzkiej aktywności są oceniane pozytywnie. Okazuje się jednak, że dla dźwięków pochodzących od ludzi najważniejszym kryterium jest sama czynność. Ogólnie rzecz biorąc, z badań Dubois wynika, że krajobraz dźwiękowy jest rozpatrywany globalnie i najczęściej w kilku modalnościach. Bodziec jest zawsze percypowany w kontekście, a procesy percepcyjne są powiązane z wcześniejszymi doświadczeniami danego słuchacza i ich interpretacją. Badania kognitywistyczne pokazują również, że ocena soundscape'u jest związana ze sposobem, w jaki badany używa zmysłu słuchu. Truax (1999) wyróżnia trzy stany: słuchanie analityczne- kiedy osoba skupia się na bodźcu dźwiękowym i jego rozumieniu, słuchanie „w tle”- kiedy słuchacz jest skupiony na innej czynności, słuchanie „w gotowości”- kiedy słuchacz jest w stanie przetworzyć bodziec dźwiękowy, ale jest skupiony na innej czynności.

Koncepcja krajobrazów dźwiękowych ma na celu zmianę myślenia o dźwięku w środowisku i jego relacji z człowiekiem. Według zwolenników tej koncepcji idealną sytuacją byłoby projektowanie soundscape'ów, tak jak to się dzieje dla niektórych obiektów urbanistycznych (Brown & Muhar, 2004). W podejściu soundscape'owym dźwięk nie jest odpadem, ale zasobem, który może zapewniać komfort akustyczny nawet pomimo wskaźników fizycznych, jeśli tylko będzie odpowiednio zarządzany i projektowany. W badaniach audiowizualnych (Hong & Jeon, 2013) pokazano, że dodanie do krajobrazu dźwięków ocenianych pozytywnie powodowało poprawę jego oceny. Zjawisko to zachodziło również w sytuacji odwrotnej, pozytywnie oceniany obraz poprawiał ocenę bodźca zawierającego niekorzystnie oceniany dźwięk.

Nie jest możliwy prosty opis zjawisk związanych z soundscapem, ze względu na jego złożoność i silne powiązanie z interpretacją poszczególnych osób, jednak w miarę rozwoju badań nad nim rozwijane są również narzędzia jego analizy. Badania z czasem powinny pozwolić na stworzenie metod projektowania krajobrazów dźwiękowych, które mogłyby zostać wprowadzone na szeroką skalę i stosowane przez projektantów przestrzeni miejskiej.

2.2. Metody odsłuchowe

Niezwykle istotnym aspektem wszelkich eksperymentów psychofizycznych jest sposób prezentacji sygnałów. Do najczęściej wykorzystywanych należą binauralny przy użyciu słuchawek oraz odsłuch ambisoniczny, prezentowany za pomocą zestawu głośników. W klasycznej psychoakustyce zdecydowanie dominował odsłuch słuchawkowy, ze względu na dużą prostotę jego realizacji, zarówno jeśli chodzi o generację sygnałów testowych, jak i prezentację eksperymentu słuchaczom. Ten rodzaj prezentacji bodźców zapewnia również kontrolowane warunki doświadczalne, a co za tym idzie większą wiarygodność wyników. W przypadku sygnałów środowiskowych wartość odsłuchu binauralnego może stać pod znakiem zapytania. Możliwe jest wprawdzie wykonanie nagrań binauralnych symulujących rzeczywiste środowisko akustyczne przy użyciu sztucznej głowy lub rejestratora takiego jak Head Acoustics Squadriga II. Nie da się jednak uniknąć tego, że krajobraz dźwiękowy zawsze oceniany jest w kontekście, dlatego zarówno klasyczne sposoby rejestracji, jak i prezentacji bodźców mogą być niewystarczające. Słuchacz w słuchawkach może oceniać bodźce inaczej, niż robiłby to w środowisku naturalnym. Jednak ze względu na brak stabilności i powtarzalności warunków eksperymentalnych trudnym jest prowadzenie eksperymentów

w środowisku naturalnym. Ze względu na wyżej wymienione powody dużą nadzieję budzi odsłuch ambisoniczny, który pozwala na odtworzenie naturalnego pola akustycznego bodźców środowiskowych, jednocześnie nie narzucając słuchaczowi obecności słuchawek, których w środowisku naturalnym by nie miał.

2.2.1. Odsłuch binauralny

Technika binauralna umożliwia bardzo dobre odwzorowanie naturalnego krajobrazu dźwiękowego. Dzięki niej możliwe jest wierne przekazanie nie tylko barwy czy dynamiki, ale też wszelkich akustycznych właściwości soundscape'u, który został zarejestrowany. Pozwala także na zachowanie informacji o lokalizacji, co umożliwia później słuchaczowi umiejscawianie źródeł podczas odsłuchu, a co za tym idzie daje poczucie przebywania „wewnątrz” danego krajobrazu dźwiękowego. Niebagatelne znaczenie w zastosowaniu jej do eksperymentów psychoakustycznych ma również fakt, że zapewnia ona badaczom dużą kontrolę nad warunkami eksperymentalnymi.

Nagrania binauralne uzyskuje się poprzez rejestrację dźwięków przy użyciu sztucznej głowy lub pary mikrofonów umieszczonych w miejscach uszu słuchacza. Taki sposób rejestracji ma sens, ponieważ głowa ludzka wraz z zewnętrzną częścią ucha stanowi układ filtrów, który dokonuje pewnych zmian w sygnale zanim dotrze on do błony bębenkowej. Zatem wykonywanie nagrań w ten sposób daje możliwość uwzględnienia tego „zestawu filtrów”, a co za tym idzie stworzenie bardziej realistycznego w odbiorze słuchacza bodźca, pozwalającego przede wszystkim na zachowanie informacji przestrzennej o dźwiękach. Ten zestaw filtrów możliwy jest także do zamodelowania przy użyciu funkcji przeniesienia głowy-HRTF (ang. Head Related Transfer Function). Pozwala to na sztuczne wytwarzanie nagrań binauralnych o bardzo dokładnej lokalizacji przestrzennej źródeł. Niestety, ze względu na osobnicze różnice w kształcie głowy i małżowiny usznej, funkcja przeniesienia głowy także nie jest jednakowa dla każdego człowieka. W związku z tym wrażenie słuchacza nie zawsze jest w pełni naturalne, gdyż jest niejako „umieszczony w nieswojej głowie”, a zatem słucha dźwięków przefiltrowanych innym zestawem filtrów niż jego własny. Można jednak stwierdzić, że technika binauralna pozwala na dość wierne wirtualne rozmieszczenie dźwięków w przestrzeni wokół słuchacza, dzięki czemu może być zastosowana w badaniu naturalnych krajobrazów dźwiękowych jako wiarygodna metoda prezentacji bodźców.

2.2.2. Odsluch ambisoniczny

Ambisonia jest techniką przestrzennego nagrywania i reprodukcji dźwięku, która zapewnia rejestrację całości sfery wokół punktu, w którym umieszczony jest mikrofon. W stosunku do technik klasycznych wzbogaca ona zatem nagranie o przestrzeń wertykalną. Jej korzenie sięgają lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku, kiedy Michael Gerzon (1973) z Uniwersytetu w Oxfordzie wprowadził ambisonię pierwszego rzędu w postaci tak zwanego B-Format, który koduje informacje zawarte w trójwymiarowym polu dźwiękowym za pomocą czterech kanałów. Równanie (1) przedstawia informacje wszechkierunkowe zakodowane w kanale W, natomiast równania (2), (3) i (4) opisują kolejno informacje o osiach X, Y i Z.

$$W = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \right] \quad (1)$$

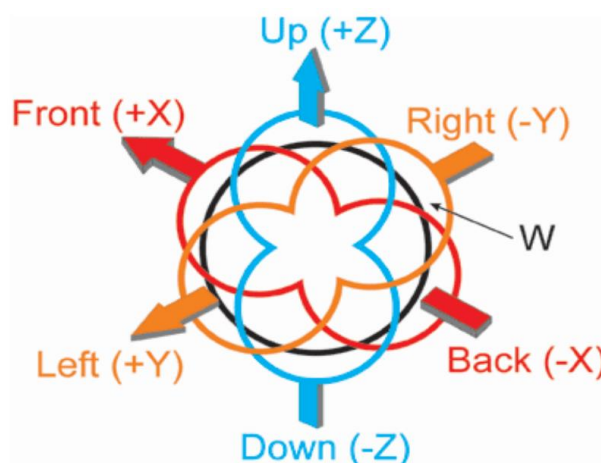
$$X = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i [\cos \varphi_i \cos \theta_i] \quad (2)$$

$$Y = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i [\sin \varphi_i \cos \theta_i] \quad (3)$$

$$Z = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i [\sin \varphi_i] \quad (4)$$

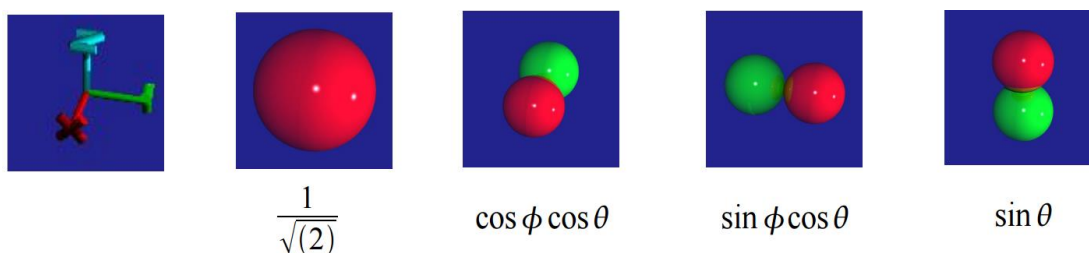
W powyższych równaniach s_i to sygnały monofoniczne, które mają być zakodowane w odpowiednich pozycjach φ_i (kąt horyzontalny) oraz θ_i (kąt wertykalny)². Równania pokazują, że ambisoniczne pole akustyczne może być zsyntezowane przez przemnożenie każdego z sygnałów źródłowych przez wartość trójwymiarowej funkcji w jego kierunku (φ, θ) . Rysunek 3 przedstawia kształty charakterystyk kierunkowych mikrofonów, z których musi się składać urządzenie do rejestracji ambisonicznej, aby opisane wyżej równania pozwalały na zakodowanie informacji o całości pola akustycznego wokół danego punktu.

² Użyty system współrzędnych sferycznych jest zgodny z ambisonicznymi konwencjami: ma lewostronną orientację, a oś x wskazuje kierunek 0° zarówno dla azymutu i elewacji. Kąt azymutalny zwiększa się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara w kierunku dodatniej części osi y. Elewacja jest dodatnia dla wartości powyżej płaszczyzny xy (dodatnie wartości z).



Rysunek 3. Schemat charakterystyk kierunkowych mikrofonu ambisonicznego (źródło: <http://www.soundonsound.com/sos/Oct01/articles/surroundsound3.asp>)

Kształt tych funkcji dla różnych kanałów ambisonii przedstawia Rysunek 4. Sygnały te mogą zostać zarejestrowane przez jeden mikrofon wszechkierunkowy (kanał W) oraz trzy mikrofony o charakterystyce ósemkowej (kanały X, Y, Z), co pozwala na ambisoniczną rejestrację rzeczywistych pól akustycznych.



Rysunek 4. Funkcje ambisoniczne pierwszego rzędu (kanały od W do Z od lewej do prawej) (Hollerweger, 2008)

Sygnały zakodowane w sposób ambisoniczny niosą informację o całości pola akustycznego. Są zatem zupełnie niezależne od wybranego układu głośników, przeznaczonego do dekodowania pola akustycznego. Wymagane jest jedynie, aby liczba głośników wykorzystywanych do odtwarzania była nie mniejsza od liczby kanałów ambisonicznych, czyli w przypadku B-Formatu oznacza to minimum 4 głośniki. Pożądane jest jednak użycie większej liczby głośników, ponieważ może to poprawić lokalizację źródeł dźwięku. Macierz głośników powinna być jak najbardziej regularna. Wraz z jej regularnością wzrasta bowiem dokładność lokalizacji źródeł. Istnieją dwie główne techniki dekodowania sygnałów ambisonicznych: poprzez projekcję oraz poprzez pseudoinwersję. Zostały one opisane w kolejnych podrozdziałach.

2.2.2.1. Dekodowanie poprzez projekcję

Najprostszy ambisoniczny dekodery działa na zasadzie wysyłania do każdego głośnika odpowiedniej sumy ważonej wszystkich kanałów ambisonicznych. Dostarczany sygnał kanału ambisonicznego jest ważony harmoniką sferyczną odpowiadającą pozycji głośnika. Można go wyliczyć za pomocą równania (5)

$$p_j = \frac{1}{N} [W \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) + X(\cos\varphi_j \cos\theta_j) + Y(\sin\varphi_j \cos\theta_j) + Z(\sin\varphi_j)] \quad (5)$$

W powyższym równaniu (φ_j, θ_j) to pozycja j-tego głośnika, natomiast N oznacza liczbę kanałów ambisonicznych. Taka strategia rozkodowania zakłada regularny rozkład głośników, na przykład ośmiu rozłożonych na okręgu, oddzielonych równymi kątami. Dla rozkładów trójwymiarowych istnieje pięć regularnych rozkładów: kostka, tetraedron, oktaedron, ikosaedron i dodekaedron. Ogranicza to również liczbę możliwych do wykorzystania głośników. Istnieje możliwość wykorzystania układu nieregularnego, skutkuje to jednak uzyskaniem również nieregularnego pola akustycznego.

2.2.2.2. Dekodowanie poprzez pseudoinwersję

Możliwa jest także notacja równania dekodowania w formie macierzy. Jeśli oznaczy się wektor kanałów ambisonicznych jako $B = [W \ X \ Y \ Z]^T$, wektor kolumnowy sygnałów dla poszczególnych głośników jako p , a macierz ponownego kodowania jako C , to elementy C będą zawierały wartości harmoniki sferycznej dla pozycji głośników. Macierz C ma N rzędów dla harmonik sferycznych i L kolumn dla kolejnych głośników. Funkcję dekodującą można wyrazić jako:

$$B = C * p \quad (6)$$

Zatem wektor sygnałów dla poszczególnych głośników ma postać

$$p = C^{-1} * B \quad (7)$$

C^{-1} , zwana także macierzą dekodowania, jest odwrotnością C . Aby C było odwracalne, musi być macierzą kwadratową, co możliwe jest tylko dla $L=N$. Jako że najczęściej $L>N$, można dokonać jedynie operacji pseudoinwersji (równanie 8).

$$pinv(C) = C^T (C * C^T)^{-1} \quad (8)$$

Operacja ta daje użyteczne wyniki jedynie dla niewielkich wartości wskaźników uwarunkowania macierzy C , co wiąże się z uzyskaniem maksymalnej możliwej regularności układu głośników. Dla idealnie regularnego ustawienia dekodowanie przy użyciu projekcji jest równoważne dekodowaniu przy użyciu pseudoinwersji (Hollerweger, 2008).

2.2.2.3. Podsumowanie ambisonii

W czasach, kiedy Gerzon opracował ambisonię okazała się ona za bardzo wyprzedzać swoją epokę i zupełnie nie przyjęła się w zastosowaniach komercyjnych. W ostatnich latach jednak przeżywa drugą młodość ze względu na zastosowania w dźwięku 3D, budowaniu wirtualnej rzeczywistości oraz badaniach krajobrazów dźwiękowych. Jej potencjalne zastosowania rozszerza również rozwinięcie koncepcji ambisonii wyższych rzędów. Prezentacja ambisoniczna, nawet pierwszego rzędu, stanowi jednak ogromny postęp w prezentacji bodźców akustycznych w stosunku do klasycznych technik stereofonicznych oraz daje możliwość bardzo naturalnego i wiernego odtworzenia dźwięków środowiskowych.

3. Cel pracy

Z przedstawionej powyżej problematyki wynikają bezpośrednio założenia badawcze niniejszej pracy. Podstawowym problemem badawczym było bowiem porównanie ocen dokuczliwości bodźców środowiskowych przy prezentacji słuchawkowej binauralnej oraz ambisonicznej. Podstawowy materiał badawczy stanowiły krajobrazy dźwiękowe nagrywane w środowisku miejskim oraz naturalnym. Odpowiednia ich rejestracja za pomocą mikrofonu ambisonicznego oraz zestawu HeadAcoustics Squadriga II z słuchawkami BHS II umożliwiła prezentację dokładnie tych samych bodźców za pomocą dwóch różnych systemów prezentacji, a co za tym idzie porównanie ich subiektywnych ocen. W niniejszej pracy poddano eksperymentalnej weryfikacji następujące hipotezy badawcze:

1. Subiektywna ocena dokuczliwości bodźca dokonana przez słuchacza różni się istotnie w zależności od rodzaju prezentacji.
2. Preferencja słuchacza dotycząca rodzaju prezentacji bodźca obniża ocenę dokuczliwości bodźców.
3. Słuchacze posiadający wykształcenie w dziedzinie reżyserii dźwięku, przyzwyczajeni do częstej pracy na słuchawkach, będą inaczej oceniać dokuczliwość bodźców w zależności od rodzaju prezentacji niż pozostała grupa słuchaczy.

W celu weryfikacji powyższych hipotez zaprojektowano odpowiedni eksperyment. Składał się on z dwóch części, których kolejność zmieniała się losowo pomiędzy słuchaczami. Obie odbywały się w komorze bezdechowej, w której znajdował się tylko słuchacz oraz system prezentacji bodźców. W pierwszej z nich badany prezentowano krajobrazy dźwiękowe przy użyciu ambisonicznego systemu głośnikowego i po prezentacji każdego z bodźców proszono o ocenę jego dokuczliwości w skali na skali ICBEN (od 0 do 10, gdzie 0 oznaczało wcale nie dokuczliwy, a 10 oznaczało skrajnie dokuczliwy). W drugiej części eksperymentu zadanie słuchacza było dokładnie takie samo, ale tym razem bodźce prezentowane były przy użyciu słuchawek. Odpowiedzi te zostały wykorzystane do weryfikacji pierwszej hipotezy badawczej. Po ukończeniu obu części eksperymentu badany otrzymywał dodatkowe pytanie, o sposób prezentacji, który jego zdaniem lepiej odwzorowywał rzeczywisty krajobraz dźwiękowy. Ta odpowiedź wraz z wcześniej uzyskanymi danymi posłużyła do weryfikacji hipotezy drugiej. Trzecia hipoteza możliwa była natomiast do zweryfikowania, ponieważ przeprowadzający

eksperyment uzyskiwał od badanego informacje na temat jego wykształcenia i dołączał je do bazy danych odpowiedzi.

Niniejsza praca miała na celu odpowiedzenie na pytanie, czy ocena dokuczliwości krajobrazu dźwiękowego dokonywana w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych zależy w istotny sposób od wybranego rodzaju prezentacji. Jest to bardzo istotny problem w kontekście dalszych badań nad krajobrazami dźwiękowymi, gdyż bez wiedzy o wpływie sposobu prezentacji na wyniki badań nie będzie możliwe definitywne orzekanie o prawdziwości wyników uzyskanych przy użyciu jednego z nich. Do badania wybrano klasyczny, stosowany w bardzo wielu eksperymentach sposób wykorzystujący technikę binauralną oraz zyskujący coraz większą popularność odstęp ambisoniczny przy użyciu matrycy głośników, który, zgodnie z założeniami, powinien pozwalać na wierniejsze odtworzenie warunków środowiskowych w przestrzeni laboratoryjnej.

Istotną częścią realizacji niniejszej pracy było również przygotowanie oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia eksperymentów. Złożoność scenariuszy eksperymentalnych oraz scenerii doświadczenia (konieczność kontroli 26 głośnikowego systemu ambisonicznego oraz dwukanałowego odstępu słuchawkowego) skłoniła autora niniejszej pracy do automatyzacji procesu prezentacji bodźców i zbierania wyników poprzez przygotowanie odpowiedniego oprogramowania. Jego stworzenie pozwoliło na efektywne przeprowadzenie badań, łatwe zgromadzenie wyników w postaci przygotowanej do dalszej analizy bazy danych oraz uniezależniło rezultaty od ewentualnych błędów eksperymentatora. Jako że przygotowanie specjalistycznego oprogramowania jest procesem czasochłonnym i złożonym, jego rezultaty zostały uznane za istotną część merytoryczną tej pracy oraz opisane w rozdziale 4.

4. Oprogramowanie eksperymentu

Początkowym etapem realizacji niniejszej pracy magisterskiej było przygotowanie przez jej autora dedykowanego oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia eksperymentów. Zostało ono przygotowane w środowisku Microsoft Visual Studio przy użyciu języka C# i technologii .NET³. Dodatkowo do obsługi Asio⁴ wykorzystano bibliotekę BassAsio w wersji przeznaczonej dla środowiska .NET. Zajmowała się ona zarządzaniem urządzeniami audio oraz odtwarzaniem strumienia danych, zdecydowanie upraszczając programistyczną obsługę dźwięku. Oprogramowanie obsługujące eksperyment podzielone zostało na trzy części- obsługę plików wejściowych i wyjściowych, logikę eksperymentu oraz graficzny interfejs użytkownika. Ze względu na specyfikę dziedziny, jaką jest programowanie, w dalszej części rozdziału używana będzie nomenklatura specjalistyczna oraz, w przypadkach kiedy nie istnieją dobre odpowiedniki w języku polskim, sformułowania w języku angielskim. Również przytaczane w tekście nazwy funkcji i klas mogą mieć nazwy w języku angielskim. Wynika to z powszechnie przyjętych wśród programistów sposobów nazewnictwa. Wszystkie opisane fragmenty kodu aplikacji można znaleźć w Dodatek A – Kod aplikacji.

4.1. Obsługa plików wejściowych i wyjściowych

4.1.1. Pliki wejściowe

Pliki wejściowe zawierają w sobie wszystkie informacje potrzebne do uruchomienia eksperymentu- rodzaj i liczbę bodźców, lokalizację odpowiednich plików dźwiękowych, a także instrukcję i pytanie dla słuchacza. Za obsługę plików wejściowych odpowiada klasa `InputFile` zamieszczona na Listing 1. Klasa ta korzysta z wbudowanych typów oraz funkcji języka C# działającego w połączeniu ze środowiskiem .NET. Obiekt klasy `InputFile` przechowuje w sobie ścieżkę do pliku wejściowego, liczbę kanałów audio, liczbę bodźców w danym eksperymencie, instrukcję oraz pytanie do badanego, a także listę ścieżek do wejściowych plików audio oraz listę ich długości w sekundach. W konstruktorze klasy `InputFile` wywoływanym z argumentem

³ Platforma programistyczna firmy Microsoft, która obejmuje środowisko uruchomieniowe oraz biblioteki klas rozszerzające funkcjonalności obsługiwanych przez nią języków programowania. Nie jest związana z żadnym konkretnym językiem programowania.

⁴ (ang. *Audio Stream Input/Output*)-sposób zarządzania strumieniem audio opracowany przez firmę Steinberg Media Technologies, pozwalający na dostęp do kart dźwiękowych i interfejsów audio. Zarządza wszystkimi parametrami sygnałów i urządzeń, pozwalając na osiągnięcie bardzo małych opóźnień przy zachowaniu wysokiej jakości dźwięku i kontroli nad nagrywaniem i odtwarzaniem strumienia audio. Sterowniki Asio są standardowo dołączane przez producenta sprzętu audio.

typu *string*, który jest ścieżką do pliku wejściowego, inicjalizowane są pola obiektu oraz wywoływana jest funkcja *load_from_file*, która odpowiada za parsowanie⁵ tekstowego pliku wejściowego i wypełnianie odpowiednich pól obiektu oraz list danymi potrzebnymi do wykonania eksperymentu.

4.1.2. Pliki wyjściowe

Pliki wyjściowe służą do zapisu wyników eksperymentów do plików csv, które później mogą zostać wczytane do innych programów, takich jak Microsoft Excel i wykorzystane przy analizie wyników. Pliki wyjściowe zawierają w sobie dane osoby badanej oraz kolejne wiersze z zapisanymi ocenami dokuczliwości dla poszczególnych bodźców, a także sposobem prezentacji danego bodźca. Klasa *VarOutFile* (Listing 2) składa się z dwóch funkcji. Pierwsza z nich- *CreateFile*, odpowiada za utworzenie pliku wyjściowego dla danego słuchacza, jeśli taki plik jeszcze nie istniał. Utworzony plik ma nazwę składającą się z nazwiska i imienia osoby, której dotyczy. Następnie funkcja zapisuje dane badanego do pliku csv i zwraca ścieżkę do niego. Jeśli słuchacz brał już udział w eksperymencie i udzielił jakichś odpowiedzi, to funkcja nie robi nic poza zwróceniem ścieżki do istniejącego już pliku wyjściowego. Druga funkcja- *Add_Line*, służy do zapisu poszczególnych odpowiedzi słuchacza i jest wywoływana każdorazowo po dokonaniu przez niego oceny dokuczliwości bodźca. Zamienia ona dane o odpowiedzi na wartość typu *string*, po czym zapisuje je do pliku.

4.2. Logika eksperymentu

Obsługa logiki eksperymentu zawarta jest w kilku odrębnych funkcjach, znajdujących się w klasie *Cat_Audio_Form*. Zajmują się one realizacją poszczególnych zadań związanych z prawidłowym przeprowadzeniem eksperymentu. Funkcja *przygotowanie_odtwarzania* (Listing 3) jest wywoływana przed rozpoczęciem odtwarzania bodźca słuchaczowi. Na podstawie ścieżki do pliku zawartej w pliku wejściowym wczytuje ona odpowiedni bodziec w formacie wave. Plik ten następnie jest przekazywany do bufora biblioteki BassAsio, która zajmuje się jego odtwarzaniem. W funkcji tej następuje również inicjalizacja wybranego przez operatora eksperymentu urządzenia Asio. Na koniec uruchamiany jest timer, który ma na celu zatrzymanie odtwarzania po upływie wprowadzonego przez eksperymentatora w pliku wejściowym czasu trwania bodźca. Działanie timera uzupełnia funkcja *timer1_Tick* (Listing 4),

⁵ Parsowanie w informatyce oznacza analizę ciągu znaków w celu ustalenia jego struktury.

która wywołuje się automatycznie po upływie określonego wcześniej interwału czasowego. Jej zadaniem jest zatrzymanie odtwarzania, wyczyszczenie odpowiednich buforów, wyłączenie dalszego odliczania czasu oraz wywołanie panelu, na którym badany ma możliwość dokonania oceny dokuczliwości bodźca, który właśnie został zaprezentowany.

Funkcja *Ustawienie_probek* (Listing 5) wywoływana jest po zebraniu odpowiedzi od słuchacza. W trakcie trwania eksperymentu jej jedynym zadaniem jest przejście do kolejnej próbki i wywołanie widoku prezentacji bodźca oraz funkcji *przygotowanie_odtwarzania*, która wczyta kolejny plik wave i go odtworzy. Jeśli natomiast zostanie wywołana po odtworzeniu ostatniej próbki w badaniu, to jej zadaniem jest sprawdzenie, czy należy wyświetlić pytanie o preferencję słuchacza, wyświetlenie go, a także zapisanie odpowiedzi na nie do pliku wyjściowego. Do zbierania odpowiedzi służy również funkcja *zapisz_odpowiedz* (Listing 6), która wywoływana jest po kliknięciu każdego z 11 przycisków na panelu oceny dokuczliwości. Jej rolą jest odczytanie wartości oceny dokuczliwości wybranej przez słuchacza, zapisanie jej do pliku wyjściowego jako kolejnej linii, a następnie wywołanie funkcji *Ustawienie_probek*, która zajmie się przejściem do kolejnych prezentacji bodźców.

Ostatnią z funkcji obsługujących logikę eksperymentu jest *Asio_Setup*. Jej rolą jest komunikacja z biblioteką BassAsio i odpowiednia jej inicjalizacja (Listing 8. Funkcja *Asio_Setup*). Działa ona na wybranym przez eksperymentatora urządzeniu Asio. Wywołuje odpowiednie funkcje biblioteczne czyszczące bufor, a także ustawiające konfigurację szybkości próbkowania strumienia audio, formatu jego przechowywania w buforze odtwarzania oraz liczby kanałów. Po jej wykonaniu urządzenie jest gotowe do rozpoczęcia odtwarzania dźwięku.

4.3. Graficzny interfejs użytkownika

Podstawowymi elementami graficznego interfejsu użytkownika są :

- panel konfiguracji eksperymentu (Rysunek 5),
- panel instrukcji (Rysunek 6),
- panel odpowiedzi słuchacza (Rysunek 7),
- panel pytania o preferencję (Rysunek 8).

4.3.1. Panel konfiguracji eksperymentu

Pierwszy z elementów graficznego interfejsu użytkownika umożliwia eksperymentatorowi wprowadzenie danych słuchacza, wybór urządzenia ASIO, wybór pliku wejściowego do eksperymentu oraz ścieżki do pliku wyjściowego. Umożliwia również konfigurację sposobu prezentacji bodźców- ambisoniczną lub słuchawkową.

The screenshot shows a software interface titled 'Input Parameters'. It contains several input fields and buttons. At the top left, there are three text boxes for 'Badany: Imię, Nazwisko, Wiek'. Below them is a 'Plik wejściowy' field and a 'Wczytaj plik' button. To the right, a list box titled 'Urządzenia ASIO' shows three options: 'ASIO4ALL v2' (selected), 'FL Studio ASIO', and 'Focusrite USB 2.0 Audio Drive'. Below the list box is a 'Odsłuch ambisoniczny' checkbox and a numeric field with the value '0'. In the center, there is a section for 'uruchom eksperyment' with a slider from '0' to 'próbki'. At the bottom left, there is a checked checkbox 'Odwrócone ekrany' and a 'Wróć do poprzedniego ekranu' button. At the bottom right, there is an 'Output' section with a text field 'CD: E:\' and a 'Wybierz' button.

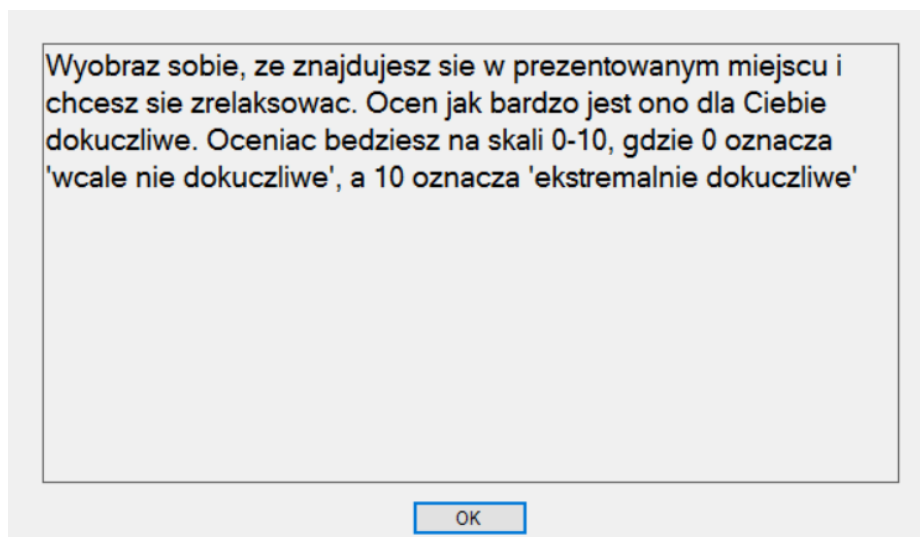
Rysunek 5. Panel konfiguracji eksperymentu

Obsługa tego panelu w kodzie zaczyna się w momencie wywołania konstruktora formularza. Funkcja *Cat_Audio_Form* (Listing 7) odpowiada za umieszczenie panelu konfiguracyjnego w lewej górnej części ekranu, po czym przy użyciu biblioteki *BassAsio* wyświetla listę dostępnych urządzeń Asio i ustawia domyślną ścieżkę pliku wyjściowego na ścieżkę, w której wywołana została aplikacja. Funkcja *bLoadInputFile_Click* (Listing 9), wywoływana po kliknięciu przycisku *Wczytaj plik*, pozwala prowadzącemu eksperyment na wybór odpowiedniego pliku wejściowego, w którym zawarte będą ścieżki do kolejnych bodźców dźwiękowych. Korzysta ona z wbudowanej klasy *OpenFileDialog*, która pozwala na wyświetlenie systemowego okienka dialogowego, służącego do odnalezienia właściwego pliku wejściowego. Następnie tworzy ona obiekt będący instancją opisanej wcześniej klasy *InputFile* i inicjalizuje go danymi zawartymi w wybranym pliku tekstowym. Powoduje ona również wyświetlenie ścieżki do pliku wejściowego na panelu konfiguracyjnym. Ostatnią z istotnych funkcji obsługujących omawiany panel jest *bExperStart_Click* (Listing 10), która wywoływana jest po kliknięciu przycisku *Uruchom eksperyment*. Odpowiada ona za utworzenie pliku

wyjściowego na podstawie wybranej przez użytkownika ścieżki, wczytanie instrukcji oraz pytania dla badanego, wskazanie biblioteki BassAsio, które z urządzeń zostało wybrane do odtwarzania eksperymentu oraz za uruchomienie kodu odpowiadającego za wykonanie logiki eksperymentu.

4.3.2. Panel instrukcji

W panelu instrukcji słuchaczowi wyświetlana jest instrukcja do eksperymentu, którego będzie uczestnikiem. Wyjaśnia ona co i w jaki sposób będzie prezentowane, a także jak powinien dokonywać swoich ocen. Daje także możliwość przygotowania się do rozpoczęcia eksperymentu, gdyż bodźce zaczynają być prezentowane dopiero po kliknięciu przez badanego przycisku *OK*. Po zamknięciu tego panelu rozpoczyna się właściwy eksperyment, polegający na prezentacji kolejnych próbek dźwiękowych.



Rysunek 6. Panel instrukcji

4.3.3. Panel odpowiedzi słuchacza

Panel odpowiedzi słuchacza wyświetlany jest po każdej prezentacji bodźca. Zawiera w sobie pytanie (wczytane z pliku wejściowego) oraz 11 przycisków z liczbami od 0 do 10, których kliknięcie powoduje zapisanie udzielonej odpowiedzi. Jest to obsługiwane przez wcześniej omówioną funkcję *zapisz_odpowiedz* (Listing 6). Słuchacz ma również możliwość wprowadzania swoich odpowiedzi przy użyciu klawiatury. Umożliwia to funkcja *Cat_Audio_Form_KeyDown* (Listing 11), której zadaniem jest przechwycenie naciśnięcia jakiegokolwiek przycisku na klawiaturze, a następnie sprawdzenie, czy jest to któryś z przycisków od „~” do „0”, gdzie pierwszy z nich odpowiada za ocenę 0, natomiast ostatni za

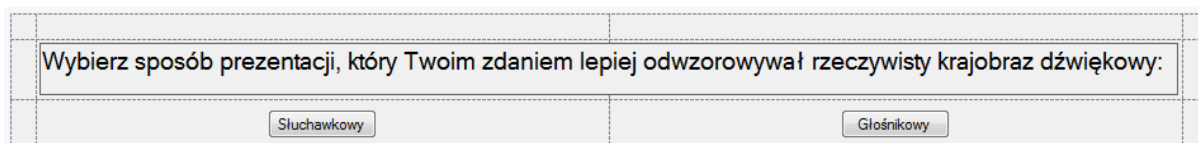
ocenę 10. Następnie wywoływana jest wbudowana funkcja, która symuluje fizyczne kliknięcie odpowiedniego przycisku przy użyciu myszy i dalsze działanie jest identyczne z opisanym wcześniej.



Rysunek 7. Panel odpowiedzi słuchacza

4.3.4. Panel pytania o preferencję

Przed zakończeniem eksperymentu, po wysłuchaniu przez słuchacza zarówno części ambisonicznej, jak i słuchawkowej, wyświetlany jest dodatkowy panel, który ma za zadanie zebranie odpowiedzi dotyczącej preferencji słuchacza. Badany udziela informacji o tym, który ze sposobów prezentacji jego zdaniem lepiej odwzorowywał rzeczywisty krajobraz dźwiękowy. Po kliknięciu jednego z przycisków panel jest zamykany, natomiast odpowiedź jest zapisywana zgodnie z procedurą opisaną dla funkcji *Ustawienie_probek* (Listing 5).



Rysunek 8. Panel pytania o preferencję

5. Opis części eksperymentalnej

5.1. Opis aparatury

Część eksperymentalna została przeprowadzona z wykorzystaniem nagrań środowiskowych pochodzących ze zróżnicowanych terenów miasta Poznania i okolic, a także obszarów nadmorskich. Zarejestrowano zarówno tereny zielone, takie jak parki, jak i ulice o dużym i małym natężeniu ruchu. W nagranych lokalizacjach pojawiały się różnego rodzaju źródła dźwięku, występujące w krajobrazie dźwiękowym miasta, takie jak odgłosy ludzi, pojazdów czy dźwięki natury.

Nagrania audio zarejestrowano przy użyciu mikrofonu ambisonicznego SoundField (Rysunek 9) oraz rejestratora cyfrowego Head Acoustics Squadriga II (Rysunek 10), umożliwiającego rejestrację binauralną za pomocą słuchawek z mikrofonami BHS II.



Rysunek 9. Mikrofon ambisoniczny SoundField



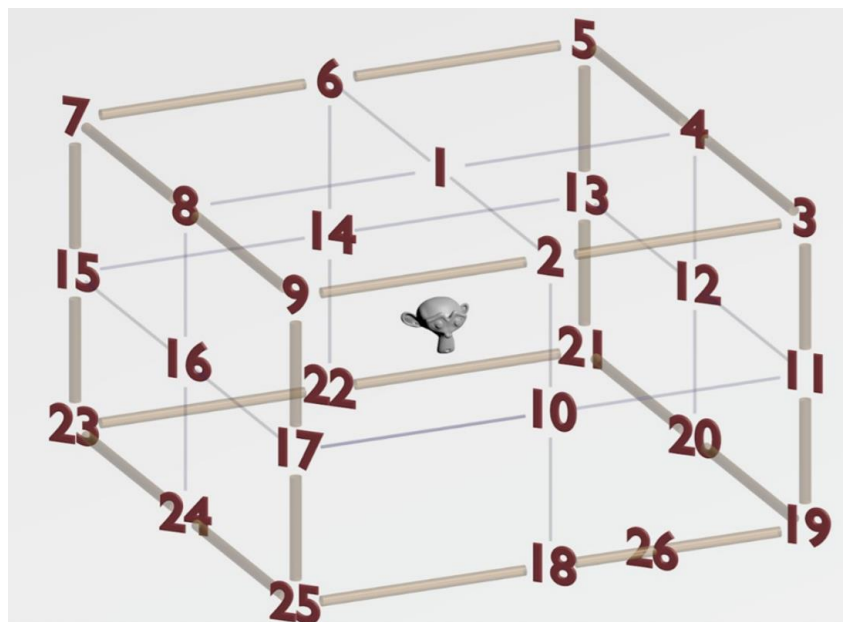
Rysunek 10. Rejestrator cyfrowy Squadriga II z słuchawkami BHS II

Obróbki nagrań i przygotowania ich do eksperymentów dokonano w programie Audacity. Polegała ona na wycięciu fragmentów o długości 15 sekund z dłuższych nagrań soundscape'ów oraz upewnieniu się, że na ich końcach nie występują żadne gwałtowne skoki sygnałów.

Eksperymenty zostały przeprowadzone w kabinie bezchowej Instytutu Akustyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza przy użyciu zainstalowanego układu do prezentacji bodźców akustycznych (głośniki w systemie 26.1, Rysunek 11).

Nagrania z mikrofonu ambisonicznego zostały przekonwertowane z czterech na 26 kanałów za pomocą specjalnego oprogramowania, napisanego w języku C#. Program ten dokonywał konwersji bazując na opisanych we wstępie teoretycznych sposobach dystrybucji sygnałów na system ambisoniczny. Wymagał wprowadzenia macierzy opisującej rozkład głośników

w systemie, na którym będą odtwarzane bodźce oraz nagranych na mikrofonie ambisonicznym sygnałów dla kanałów W, X, Y i Z. Na podstawie tych danych program zapisywał 26 kanałowy plik WAVE, który mógł już stanowić bezpośrednie wejście do oprogramowania do przeprowadzania eksperymentów.



Rysunek 11. Rozmieszczenie systemu głośnikowego w kabinie bezdechowej

5.2. Wybór bodźców

Z nagrań wykonanych w rzeczywistych lokalizacjach wybrano fragmenty o długości 15 sekund zawierające:

- Przejazd karetki
- Ludzkie kroki
- Szum morza
- Odgłosy parku z przelatującym samolotem
- Odgłosy parku z przejeżdżającym tramwajem
- Śpiew ptaków
- Przejazd skutera
- Hałas uliczny (głośny i cichy)
- Szum fontanny

Sygnały oraz poziomy ich prezentacji zostały dobrane tak, aby pokrywały szeroki zakres poziomów, jak i wywoływanej dokuczliwości. Większość słuchaczy wykorzystała w swoich ocenach pełną skalę ICBEN, zatem cel ten został osiągnięty.

5.3. Kalibracja systemu

Kalibracja systemu została wykonana przy użyciu miernika SVAN 912 AE (Rysunek 12). Polegała ona na pomiarze L_{AeqT} w miejscu, w którym siedział słuchacz przy prezentacji ambisonicznej, a następnie dopasowaniu poziomu mierzonego w słuchawkach (jedna z słuchawek zamontowana do sztucznego ucha firmy Brüel & Kjær) do zmierzonego w kabinie bezekowej. Dla każdego z bodźców kalibracja została wykonana niezależnie. Poziomy zostały wyrównane z dokładnością do 1 dBA.



Rysunek 12. Miernik SVAN 912 AE

Cechami wrażenia słuchowego, które oprócz poziomu mają wpływ na dokuczliwość, są głośność, ostrość, chropowatość i siła fluktuacji. Głośność (N) bierze pod uwagę percepcyjne znaczenie wstęg krytycznych oraz właściwości maskowania i wyrażana jest w sonach. Ostrość (S) określa proporcję składowych wysoko- do niskoczęstotliwościowych i jest wyrażana w acumach. Chropowatość (R, wyrażana w asperach) oraz siła fluktuacji (Fls, wyrażana w vacilach) biorą natomiast pod uwagę kształt przebiegu czasowego sygnału. Chropowatość zależy również od zawartości w sygnale składowych tonalnych, natomiast siła fluktuacji od modulacji i występujących w sygnale różnic poziomów. Wszystkie opisane wcześniej wskaźniki

bierze pod uwagę parametr Psychoakustycznej Dokuczliwości (PA), który definiuje się jako (Zwicker & Fastl, 1999):

$$PA = N_5(1 + \sqrt{w_s^2 + w_{FR}^2}) \quad (9)$$

gdzie N_5 to percentyle głośności w sonach,

$$w_s = \left(\frac{S}{acum} - 1.75 \right) 0.25 \log \left(\frac{N_5}{sone} + 10 \right) \quad (10)$$

dla $S > 1.75 acum$, a

$$w_{FR} = \frac{2.18}{\left(\frac{N_5}{sone} \right)^{0.4}} \left(0.4 \frac{F}{vacil} + 0.6 \frac{R}{asper} \right) \quad (11)$$

Wyniki obliczeń opisanych parametrów obiektywnych dla bodźców eksperymentalnych przedstawia Tabela 1.

Należy zauważyć, że wyrównanie poziomów prezentacji binauralnej i ambisonicznej nie wyrównało wszystkich obiektywnych parametrów psychoakustycznych. Brak wyrównania tych parametrów może być związany z pasmami przenoszenia głośników i słuchawek oraz systemów rejestracji, gdyż każdy z tych elementów toru elektroakustycznego może wnosić własne zniekształcenia do całości systemu.

Tabela 1 Parametry obiektywne bodźców akustycznych

Sygnał	Ambisoniczny						Binauralny					
	N5	Fls	R	S	PA	L _{AeqT}	N5	Fls	R	S	PA	L _{AeqT}
Fontanna	6,6	0,010	0,78	1,86	9,8	47,4	5,8	0,009	0,87	1,99	9,1	47,5
Wzburzone Morze	48,5	0,025	3,54	3,49	107,0	77,4	51,1	0,032	3,60	3,12	110,3	77,8
Karetka	34,4	0,035	1,91	1,83	61,8	74,4	31,0	0,037	1,68	1,89	48,5	73,5
Kroki	3,2	0,011	0,14	1,08	4,0	38,9	3,9	0,011	0,10	1,41	4,4	39,9
Spokojne Morze	10,1	0,012	1,24	2,36	17,0	53,2	11,1	0,015	1,40	2,04	18,9	53,7
Samolot	8,0	0,018	0,92	1,01	12,7	50,4	7,5	0,015	1,09	1,28	12,4	49,9
Skuter	8,5	0,013	0,69	1,33	12,0	48,4	8,5	0,011	0,44	1,58	10,6	47,4
Tramwaj	3,0	0,012	0,11	1,17	3,6	36,7	2,8	0,016	0,05	1,57	3,1	36,2

5.4. Eksperymenty

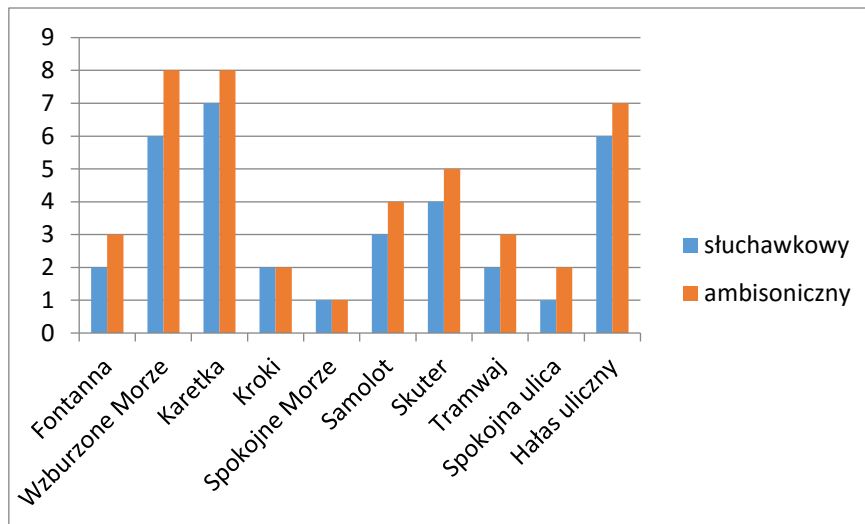
W eksperymentach wzięło udział 25 słuchaczy z słuchem otologicznie normalnym, w większości byli to studenci Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Piętnastu z nich studiowało reżyserię dźwięku. Badanie składało się z dwóch części- ambisonicznej i słuchawkowej binauralnej. W obu instrukcja dla słuchacza brzmiała dokładnie takie samo- „Wyobraź sobie, że znajdujesz się w prezentowanym miejscu i chcesz się zrelaksować. Oceń jak bardzo jest ono dla Ciebie dokuczliwe. Oceniać będziesz na skali 0-10, gdzie 0 oznacza ‘wcale nie dokuczliwe’, a 10 oznacza ‘ekstremalnie dokuczliwe’”. Po wysłuchaniu każdego z bodźców akustycznych padało pytanie – „Jak bardzo dokuczliwe było dla Ciebie to środowisko?” i należało dokonać oceny jego dokuczliwości na skali ICBEN⁶. Skala ta składa się z liczb od 0 do 10, gdzie 0 oznacza „wcale nie dokuczliwy”, natomiast 10 oznacza „ekstremalnie dokuczliwy”. W obu częściach eksperymentu prezentowane były w kolejności losowej 3 powtórzenia każdego z 10 wymienionych wcześniej bodźców. Po zakończeniu obu części słuchacz był pytany o preferencje dotyczące rodzaju odsłuchu. Instrukcja brzmiała następująco: „Wybierz sposób prezentacji, który Twoim zdaniem lepiej odwzorowywał rzeczywisty krajobraz dźwiękowy”, natomiast pod spodem znajdowały się 2 przyciski oznaczone napisami „Słuchawkowy” oraz „Głośnikowy”.

5.4.1. Eksperyment I – ocena dokuczliwości bodźców środowiskowych

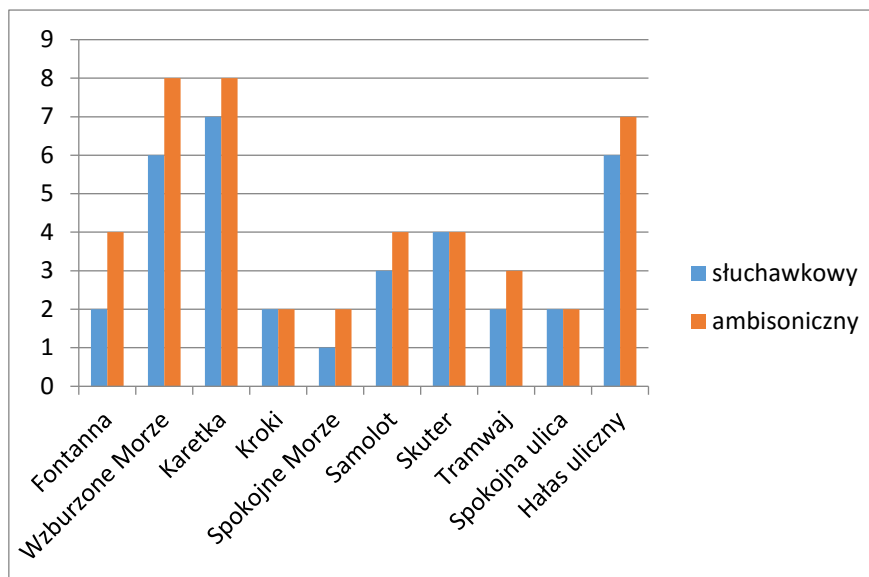
5.4.1.1. Wyniki eksperymentu I

Na kolejnych rysunkach zestawiono ze sobą mediany ocen dokuczliwości poszczególnych bodźców dla wszystkich słuchaczy (Rysunek 13) oraz dla wyróżnionej grupy reżyserów dźwięku (Rysunek 14). Można zaobserwować, że niezależnie od grupy słuchaczy i rodzaju bodźca, ocena dokuczliwości przy odsłuchu ambisonicznym jest zawsze nie mniejsza niż przy odsłuchu słuchawkowym. Test analizy wariancji potwierdza tę prawidłowość, pokazując istotność statystyczną różnicy w ocenach dokuczliwości dla dwóch rodzajów prezentacji. Stosunek różnic pomiędzy grupami (ambisoniczną i słuchawkową) do różnic wewnątrz tych grup wynosi 12.058 i został otrzymany dla poziomu istotności 0.001 (Tabela 2 Wyniki testu analizy wariancji ANOVA. Poziomy istotności zostały oznaczone: 0- ‘***’, 0.001- ‘**’, 0.01 – ‘*’, 0.05 – ‘.’, 0.1 ‘.’). Test post hoc określa wielkość tej różnicy jako 0.82.

⁶ International Commission on Biological Effects of Noise

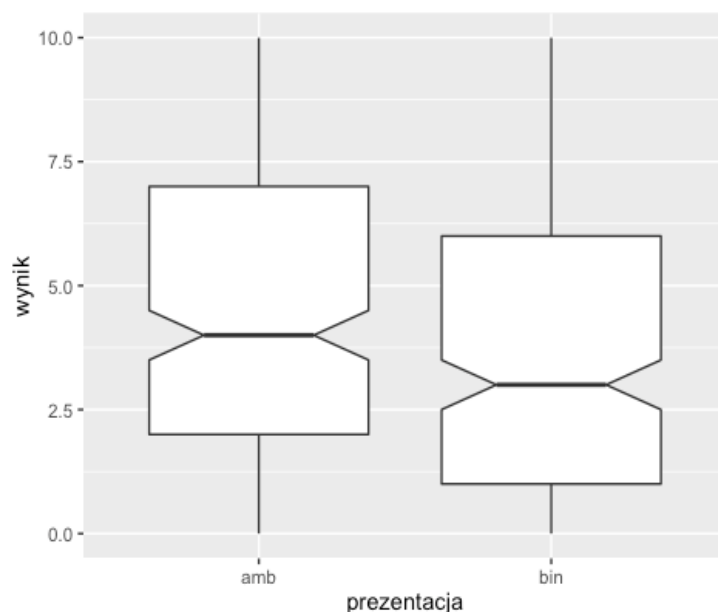


Rysunek 13. Mediana ocen dokuczliwości poszczególnych bodźców przez wszystkich słuchaczy. Na osi poziomej znajdują się nazwy poszczególnych bodźców eksperymentalnych, natomiast na osi pionowej znajduje się skala ICBEN od 0 do 10



Rysunek 14. Mediana ocen dokuczliwości poszczególnych bodźców przez reżyserów dźwięku. Na osi poziomej znajdują się nazwy poszczególnych bodźców eksperymentalnych, natomiast na osi pionowej znajduje się skala ICBEN od 0 do 10

Rysunek 15 stanowi graficzną reprezentację wyników eksperymentu pierwszego. Przedstawione są na nim mediany ocen dla wszystkich bodźców dla danego rodzaju prezentacji (ambisoniczna lub słuchawkowa binauralna). Zaznaczony jest także przedział, w którym z 95% pewnością będzie mieściła się mediana. Można zaobserwować, że zakresy te nie pokrywają się dla dwóch rodzajów prezentacji, co jest zgodne z opisanym wynikiem testu ANOVA.

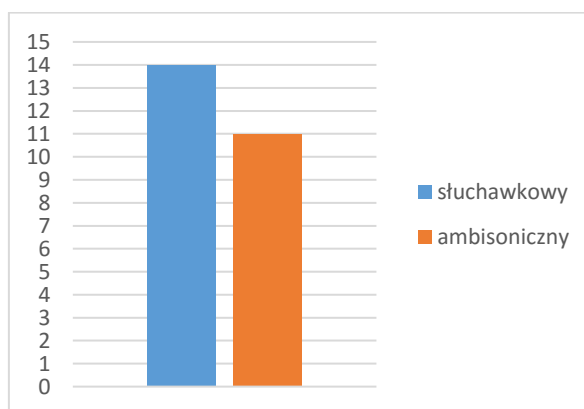


Rysunek 15 Wpływ rodzaju prezentacji na ocenę dokuczliwości bodźca. Na osi poziomej zaznaczono rodzaje prezentacji- amb oznacza odsłuch ambisoniczny, natomiast bin oznacza odsłuch słuchawkowy binauralny. Na osi pionowej odłożone są oceny dokuczliwości w skali od 0 do 10. Czarne pionowe linie oznaczają zakres możliwych wyników (w tym przypadku również od 0 do 10). Pogrubioną poziomą linią zaznaczone zostały mediany ocen, a wokół nich przedziały, w których mieści się ona z 95% prawdopodobieństwem. Dolna krawędź każdego z bloków oznacza zakres, w którym zawarto się 25% wyników, natomiast górna oznacza zakres, w którym znalazło się 75% wyników.

5.4.2. Eksperyment II – preferencje słuchaczy dotyczące rodzaju prezentacji

5.4.2.1. Wyniki eksperymentu II

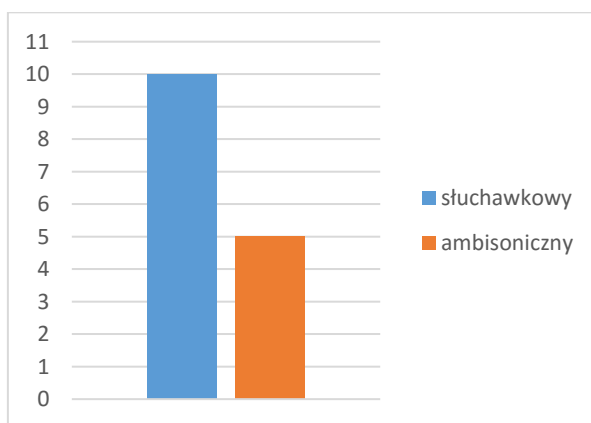
Przeanalizowano również opinię słuchaczy, co do tego, który ze sposobów prezentacji lepiej odwzorowywał naturalny krajobraz dźwiękowy. Zarówno w grupie wszystkich badanych, jak i w wyodrębnionej grupie reżyserów dźwięku, przeważały odpowiedzi wskazujące na odsłuch słuchawkowy, jako ten, który lepiej odwzorowuje rzeczywisty soundscape (Rysunek 16, Rysunek 17). W przypadku analizy wszystkich słuchaczy jednocześnie przewaga ta była nieznaczna.



Rysunek 16. Preferencje odsłuchowe wszystkich badanych. Na osi pionowej znajduje się liczba osób, która zaznaczyła daną preferencję odsłuchową

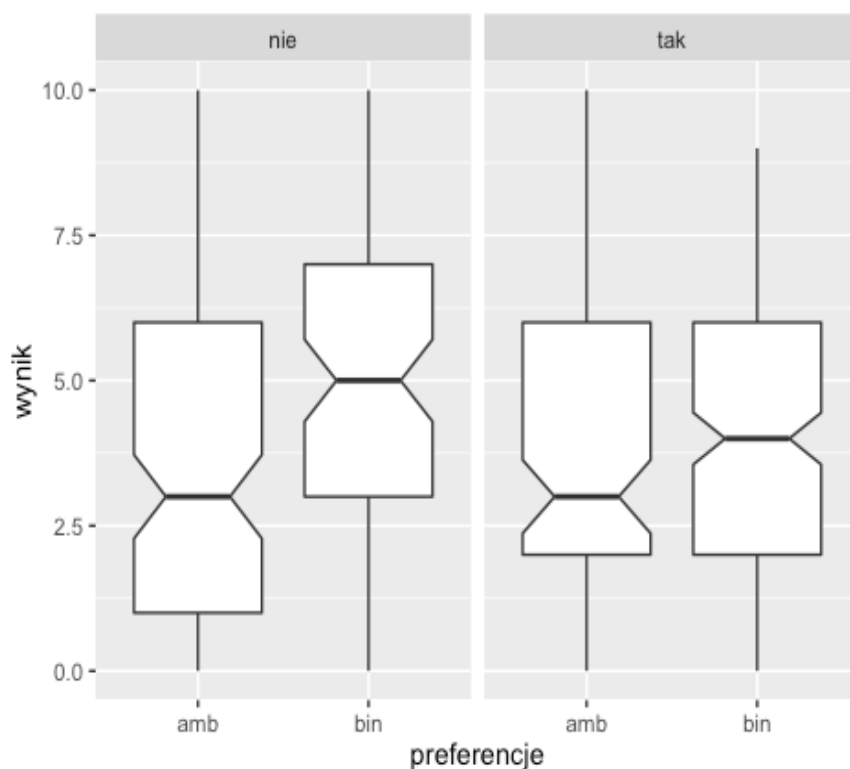
5.4.3. Wpływ studiów z reżyserii dźwięku na wyniki

Jednym z problemów badawczych wykonanego eksperymentu było również sprawdzenie wpływu, jaki mogą mieć studia z reżyserii dźwięku na różnicę ocen dokuczliwości bodźców dla różnych sposobów prezentacji bodźców oraz na preferencje słuchaczy. Rysunek 17 pokazuje, że w grupie reżyserów dźwięku przewaga preferencji odsłuchu słuchawkowego była zdecydowanie wyraźniejsza niż dla wszystkich badanych, gdyż aż 2/3 z nich uznało za lepszy odsłuch słuchawkowy.



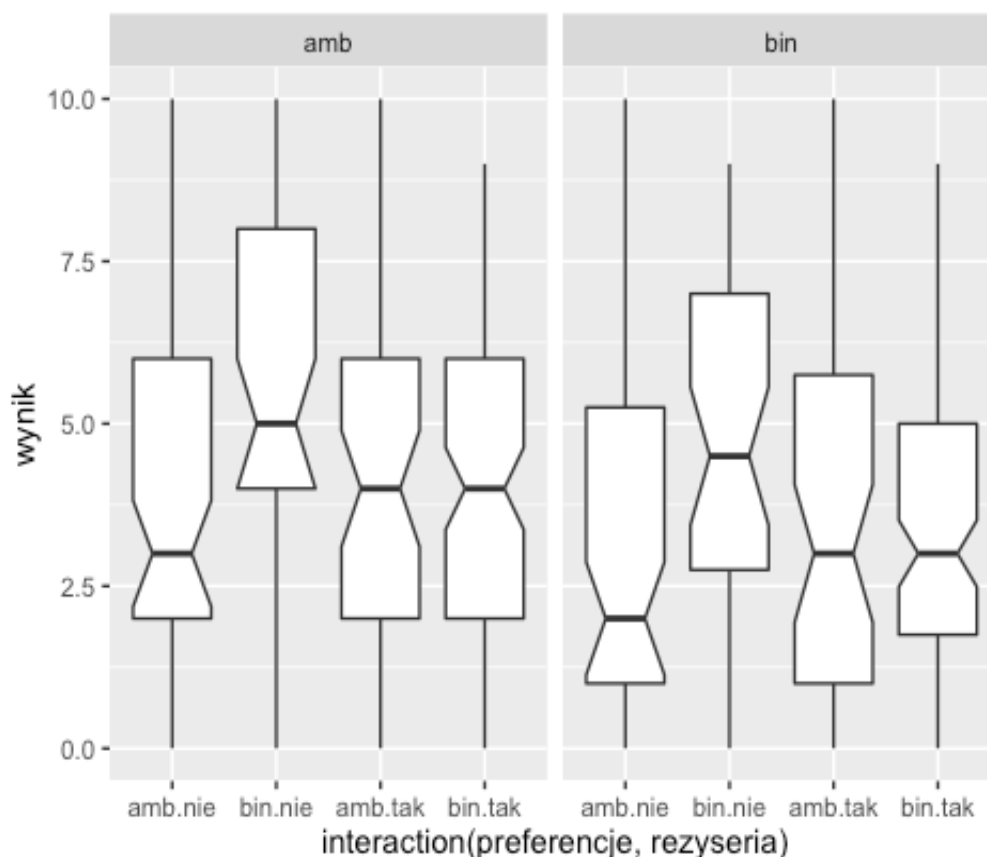
Rysunek 17. Preferencje odsłuchowe reżyserów dźwięku. Na osi pionowej znajduje się liczba osób, która zaznaczyła daną preferencję odsłuchową

Rysunek 18 pokazuje, że studia z reżyserii dźwięku wpływają osłabiająco na różnicę ocen dokuczliwości bodźców. Test post hoc wykazał, że osoby, które nie studiowały tego kierunku (kolumna oznaczona „nie”) różnią się w swoich ocenach tych samych bodźców w przybliżeniu o 1,5 (zakres zmienności od ok. 0.5 do 2.4) i jest to różnica istotna statystycznie na poziomie istotności 0.001. Dla grupy reżyserów dźwięku analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic w ocenach dla tych samych bodźców. Wykazano również istotną statystycznie różnicę w ocenach bodźców tylko słuchawkowych między grupą reżyserów dźwięku a pozostałymi słuchaczami. Różnica ta wyniosła w przybliżeniu 1.27 (zakres zmienności od ok. 0.4 do 2.2) i uzyskana została dla poziomu istotności 0.01.



Rysunek 18. Wpływ studiów z reżyserii dźwięku na różnicę w ocenie dokuczliwości bodźców. Na osi poziomej zaznaczono rodzaje prezentacji- amb oznacza odsłuch ambisoniczny, natomiast bin oznacza odsłuch słuchawkowy binauralny. Na osi pionowej odłożone są oceny dokuczliwości w skali od 0 do 10. Wyniki dla osób, które studiowały reżyserię dźwięku oznaczone są przez „tak”, natomiast pozostałych osób przez „nie”. Czarne pionowe linie oznaczają zakres możliwych wyników. Pogrubioną poziomą linią zaznaczone zostały mediany ocen, a wokół nich przedziały, w których mieści się ona z 95% prawdopodobieństwem. Dolna krawędź każdego z bloków oznacza zakres, w którym zawarto się 25% wyników, natomiast górna oznacza zakres, w którym znalazło się 75% wyników.

Rysunek 19 pokazuje, że studia z reżyserii dźwięku niwelują także różnicę związaną z preferencjami odsłuchowymi, niezależnie od sposobu prezentacji bodźca. Reżyserzy dźwięku (oznaczeni na rysunku poprzez „tak”) oceniają dokuczliwość bodźców niemal jednakowo zarówno dla odsłuchu ambisonicznego, jak i słuchawkowego binauralnego, niezależnie od określonych przez nich preferencji. Test post hoc nie wykazał istotnych statystycznie różnic dla reżyserów dźwięku. Natomiast przy prezentacji ambisonicznej dla osób bez takiego wykształcenia wystąpiła istotna statystycznie różnica między preferującymi odsłuch ambisoniczny i słuchawkowy i wyniosła około 1.6 (zakres zmienności od około 0.1 do 3.2) na poziomie istotności 0.1.



Rysunek 19. Wpływ studiów z reżyserii dźwięku na różnicę związaną z preferencjami odsłuchowymi. Na osi poziomej zaznaczono rodzaje prezentacji- amb oznacza odsłuch ambisoniczny, natomiast bin oznacza odsłuch słuchawkowy binauralny. Na osi pionowej odłożone są oceny dokuczliwości w skali od 0 do 10. Wyniki dla osób, które studiowały reżyserię dźwięku oznaczone są przez „tak”, natomiast pozostałych osób przez „nie”. Preferencje grup słuchaczy są natomiast umieszczone w górnej części wykresu. Amb oznacza preferencję odsłuchu głośnikowego, natomiast bin oznacza preferencję odsłuchu słuchawkowego. Czarne pionowe linie oznaczają zakres możliwych wyników. Pogrubioną poziomą linią zaznaczone zostały mediany ocen, a wokół nich przedziały, w których mieści się ona z 95% prawdopodobieństwem. Dolna krawędź każdego z bloków oznacza zakres, w którym zawarto się 25% wyników, natomiast górna oznacza zakres, w którym znalazło się 75% wyników.

5.4.4. Analiza statystyczna wyników

Analiza statystyczna wyników eksperymentu potwierdza opisane w poprzednich punktach zależności jako statystycznie istotne. Nieistotne statystycznie okazały się być natomiast interakcje między rodzajem prezentacji a preferencjami, rodzajem prezentacji a wykształceniem z reżyserii dźwięku oraz między wszystkimi trzema czynnikami. Tabela 2 przedstawia szczegółowo wyniki testu analizy wariancji. Wszystkie wyniki testu post hoc umieszczone są natomiast w Dodatek B - Wyniki testów post hoc.

Tabela 2 Wyniki testu analizy wariancji ANOVA. Poziomy istotności zostały oznaczone: 0- '***', 0.001- '**', 0.01 – '*', 0.05 – '.', 0.1 ''

	Df	Sum Sq	F value	Pr(>F)
Prezentacja	1	84	12.058	0.000561***
Preferencje	1	21	2.986	0.084601 .
Rezyseria	1	27	3.851	0.050282 .
Prezentacja:preferencje	1	0	0.027	0.869957
Prezentacja:rezyseria	1	0	0.002	0.964377
Preferencje:rezyseria	1	71	10.207	0.001489**
Prezentacja:preferencje:rezyseria	1	2	0.267	0.605453
Residuals	492	3429		

6. Wnioski

Przeprowadzony w pracy eksperyment miał na celu analizę różnic w ocenach dokuczliwości słuchowych bodźców środowiskowych ze względu na sposób ich prezentacji w warunkach laboratoryjnych. Do celów tego porównania zastosowano odsłuch ambisoniczny oraz słuchawkowy binauralny, oba odbywające się w kabinie bezdechowej przy użyciu tych samych bodźców oraz oprogramowania do przeprowadzania badań.

Poziomy bodźców dla obu rodzajów prezentacji zostały wyrównane, jednak nie doprowadziło to do zrównania się pozostałych parametrów psychoakustycznych. Jest to jedna z pierwszych przesłanek, która już przed rozpoczęciem badań sugerowała, że oceny dokuczliwości mogą różnić się istotnie pomiędzy rodzajami prezentacji.

Analiza wyników testów subiektywnych pozwoliła na wysnucie następujących wniosków:

- Oceny dokuczliwości bodźców różnią się w sposób istotny statystycznie pomiędzy rodzajami odsłuchów i są one wyższe dla prezentacji ambisonicznej.
- Na różnice w ocenach dokuczliwości ma wpływ wykształcenie z reżyserii dźwięku – oceny dokonywane przez osoby po takich studiach różnią się mniej niż te, których dokonują osoby nieposiadające wykształcenia w tym zakresie.
- Studiowanie reżyserii dźwięku niweluje również wpływ preferencji odsłuchowych na różnicę w ocenach dokuczliwości.

Ponadto, zgodnie z oczekiwaniami, realizatorzy dźwięku zdecydowanie preferowali odsłuch słuchawkowy (choć ta preferencja nie wpływała na ich oceny), natomiast dla całej grupy badanych odpowiedzi na to pytanie rozłożyły się równomiernie dla obu rodzajów prezentacji.

Zaobserwowane różnice mogą wynikać zarówno z rozbieżności w parametrach psychoakustycznych dla różnych rodzajów prezentacji, jak i z być może błędnego założenia, że wyrównanie poziomów spowoduje wyrównanie percypowanej głośności dla obu sposobów odtwarzania. Tak jednoznaczna przewaga wyższych ocen dla odsłuchu ambisonicznego sugeruje konieczność dalszych badań, być może z zastosowaniem eksperymentu polegającego na wyrównaniu percypowanej głośności, zamiast wyrównania wskaźnika obiektywnego, jakim jest poziom. Wyniki uzyskane w eksperymencie wydają się być w pewnym stopniu zgodne z rezultatami badania przeprowadzonego na Uniwersytecie w Kopenhadze, gdzie zadaniem słuchaczy było ustawianie poziomu dźwięku kroków oraz soundscape'ów na taki, jaki wydawał

im się naturalny (Turchet & Serafin, 2012). Okazało się, że przy odsłuchu słuchawkowym badani ustawiali zawsze wyższy poziom dla odsłuchu ambisonicznego, przy czym dla kroków różnica ta wynosiła 6 dB, natomiast dla soundscape'ów 3 dB i była istotna statystycznie. Każę to sądzić, że być może istnieje coś w rodzaju większej tolerancji na wysoki poziom przy odsłuchu słuchawkowym i że percypowana głośność będzie zrównana między odsłuchami dla różnych poziomów ciśnienia akustycznego. Wyniki eksperymentów przedstawionych w niniejszej pracy, jak i przytoczonej publikacji duńskich naukowców sugerują konieczność dalszych badań nad tym zjawiskiem.

Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonego eksperymentu można stwierdzić, że sposób prezentacji bodźców soundscape'owych ma znaczący wpływ na ocenę ich dokuczliwości i nie można go pomijać przy projektowaniu eksperymentów w tej dziedzinie. Jako że jest to prężnie rozwijająca się dziedzina badań, to informacja ta powinna być brana pod uwagę przez wszystkich badaczy, gdyż nie można pozwolić, aby sposób prowadzenia eksperymentów wpływał na ogólniejsze wnioski dotyczące samych dźwięków środowiskowych.

7. Podsumowanie

Opisane w niniejszej pracy magisterskiej oprogramowanie oraz eksperyment zostały wykonane w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki, numer projektu UMO-2011/03/B/HS6/03709. Grant ten dotyczył interakcji audiowizualnych w badaniach bodźców środowiskowych, ale jednym z jego celów było również zbadanie różnic w ocenach dokuczliwości przy prezentacji binauralnej słuchawkowej i ambisonicznej. Badanie to było istotne przede wszystkim ze względu na konieczność stwierdzenia, który ze sposobów prezentacji lepiej odwzorowuje środowisko naturalne oraz czy zastosowany do wykonania grantu system ambisoniczny rzeczywiście zmienia zachowania słuchaczy w stosunku do klasycznych metod słuchawkowych.

Napisane w ramach realizacji niniejszej pracy magisterskiej oprogramowanie działało bez zarzutu w czasie przeprowadzanego eksperymentu, było kompletne i pozwoliło na sprawne przeprowadzenie wszystkich badań. Eksperymenty również przebiegły bez większych problemów i przede wszystkim pozwoliły na uzyskanie spodziewanych wyników. Sformułowane na początku cele pracy zostały zrealizowane i pozwoliły na wyciągnięcie istotnych wniosków. W połączeniu z przytoczonymi badaniami Turcheta i Serafina (2012) możliwe jest zasugerowanie, że odsłuch słuchawkowy nie jest dobrym sposobem prezentacji bodźców środowiskowych i powinien ustępować w przyszłych badaniach odsłuchowi ambisonicznemu.

Niniejsza praca nie wyczerpuje jednak całkowicie poruszanej tematyki. Warta dalszego zbadania jest niewątpliwie różnica w ocenach dokuczliwości pomiędzy badaniami laboratoryjnymi a *in situ*, gdyż dopiero na jej podstawie możliwe byłoby rozstrzygnięcie, który ze sposobów prezentacji jest najbliższy naturalnemu odbiorowi dźwięków w środowisku. Dalszy rozwój tego typu eksperymentów powinien również doprowadzić do całkowitego uniezależnienia się od badań w terenie, gdyż pozwoli na wyłonienie metody, która z wystarczającym przybliżeniem odtwarza warunki naturalne, ale w kontrolowanym środowisku laboratoryjnym.

8. Bibliografia

- Axelsson, O., 2011. *The ISO 12913 series on soundscape. Proceedings of Forum Acousticum.*
- Axelsson, O., Nilsson, E. i Berglund, B., 2010. A Principal Components Model of Soundscape Perception. *The Journal of the Acoustical Society of America* 128 (5), p. 2836 – 2846.
- Brambilla, G. i Maffei, L., 2006. Responses to Noise in Urban Parks and in Rural Quiet Areas. *Acta Acustica united with Acustica* 92, pp. 881-886.
- Brown, A. L. i Muhar, A., 2004. An approach to the acoustic design of outdoor space. *J. Environ. Plann. Manage.*, vol 47, no. 6, pp. 827-842.
- Brown, L., 2011. *Advancing the concept of soundscapes and soundscape planning.* Proceedings of ACOUSTICS, (str. paper nr 115).
- Dittrich, K. i Oberfeld, D., 2009. A comparison of the temporal weighting of annoyance and loudness. *J Acoust Soc Am* 126, p. 3168–3178.
- Dubois, D., Guastaviono, C. i Raimbault, M., 2006. A Cognitive Approach to Urban Soundscapes: Using Verbal Data to Access Everyday Life Auditory Categories. *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 92, pp. 865-874.
- Gerzon, M., 1973. Periphony: With-Height Sound Reproduction. *Journal of the Audio Engineering Society.*
- Gygi, B., Kidd, G. R. i Watson, C. S., 2007. Similarity and categorization of environmental sounds. *Perception & Psychophysics*, pp. 69 (6), 839-855.
- Hollerweger, F., 2008. *An Introduction to Higher Order Ambisonic.* [Online] <http://flo.mur.at/writings/HOA-intro.pdf>
- Hong, J. Y. i Jeon, J. Y., 2013. Designing sound and visual components for enhancement of urban soundscapes. *The Journal of the Acoustical Society of America* 134, p. 2026.
- Kang, J., 2007. *Urban Sound Environment.* London: Taylor & Francis.
- Li, H. N., Chau, C. K. i Tang, S. K., 2010. Can surrounding greenery reduce annoyance at home?. *Science of Total Environment* 408, pp. 4376-4384.
- Nilsson, M. E., 2007. Soundscape quality in urban open spaces. *Inter-Noise.*

Pheasant, R. J. i inni, 2010. The importance of audio-visual interaction in the construction of tranquil space. *Journal of Environmental Psychology* 30, pp. 501-509.

Plack, C., 2010. *The Oxford Handbook of Auditory Science: Hearing*. Oxford University Press.

Preis, A., Kociński, J., Hafke-Dys, H. i Wrzosek, M., 2015. Audio-visual interactions in environment assessment. *Science of the total environment*, p. 03/2015; 523.

Schafer, M., 1977. *The tuning of the world*. New York: Alfred A. Knopf.

Truax, B., 1999. *Handbook for Acoustic Ecology*. Cambridge Street Records.

Turchet, L. i Serafin, S., 2012. Investigating the amplitude of interactive footstep sounds and soundscape reproduction.. *Applied Acoustics*.

9. Dodatek A – Kod aplikacji

```
class InputFile
{
    public string file_path {get;private set;}
    public UInt16 Audio_channels { get; private set;}
    public Int32 Num_samples { get; private set;}
    public string Instructions { get; private set;}
    public string Question { get; private set; }
    private List<string> audio_samples;
    private List<Int32> sample_length;

    public string get_audio_samp(Int32 num_samp)
    {
        if (num_samp<Num_samples)
        { return audio_samples[num_samp];}
        else
        { return "-1"; }
    }
    public Int32 get_sample_length(Int32 num_samp)
    {
        if (num_samp < Num_samples)
        { return sample_length[num_samp]; }
        else
        { return -1; }
    }
    public InputFile()
    {
        Audio_channels = 0;
        Num_samples = -1;
        audio_samples = new List<string>();
        sample_length = new List<Int32>();
    }
    public InputFile(string path)
    {
        Audio_channels = 0;
        Num_samples = -1;
        audio_samples = new List<string>();
        sample_length = new List<Int32>();
        load_from_file(path);
    }
    public void load_from_file(string path)
    {
        try
        {
            using (StreamReader sr = new StreamReader(path))
            {
                file_path=path;
                Audio_channels = Convert.ToInt16(sr.ReadLine());
                Num_samples = Convert.ToInt32(sr.ReadLine());
                Instructions = sr.ReadLine();
                Question = sr.ReadLine();

                for (Int32 i=0;i<Num_samples;i++)
                {
                    sample_length.Add(Convert.ToInt32(sr.ReadLine()));
                    audio_samples.Add(sr.ReadLine());
                }
            }
        }
        catch (Exception e)
        {
            System.Windows.Forms.MessageBox.Show("Błąd odczytu pliku:\n"+e.ToString());
        }
    }
}
```

Listing 1. Klasa InputFile

```

class VarOutFile
{
    public static string CreateFile(string Name, string Surname, string Age, string path)
    {
        if (!File.Exists(Path.Combine(path, Surname + "_" + Name + ".csv")))
        {
            using (StreamWriter writer = new StreamWriter(Path.Combine(path, Surname + "_" +
                Name + ".csv"), true, Encoding.Default))
            {
                string temp = "\t\tImię\tNazwisko\tWiek\t";
                writer.WriteLine(temp);
                temp = "\t\t" + Name + "\t" + Surname + "\t" + Age + "\t";
                writer.WriteLine(temp);
                temp = "\t\tNr \tAudio Sample\tAnswer";
                writer.WriteLine(temp);
            }
        }
        return Path.Combine(path, Surname + "_" + Name + ".csv");
    }

    public static void Add_Line(string file, bool write_input_date, string input, int sample,
        string aud, string ans)
    {
        try
        {
            using (StreamWriter writer = new StreamWriter(file, true, Encoding.Default))
            {
                if (write_input_date)
                {
                    string date_time = DateTime.Now.ToString();
                    string temp = input + "\t" + date_time + "\t" + sample.ToString() + "\t" +
                        vid + "\t" + aud + "\t" + ans;
                    writer.WriteLine(temp);
                }
                else
                {
                    string temp = "\t\t" + sample.ToString() + "\t" + aud + "\t" + ans;
                    writer.WriteLine(temp);
                }
            }
        }
        catch (Exception e)
        {
            System.Windows.Forms.MessageBox.Show("Błąd zapisu pliku:\n"+e.ToString());
        }
    }
}

```

Listing 2. Klasa VarOutFile

```

public void przygotowanie_odtwarzania()
{
    audio_stoper_length = plik_wejscowy.get_sample_length(current_sample);

    try
    {
        BassAsio.BASS_ASIO_Stop();
        BassAsio.BASS_ASIO_Free();
    }
    catch
    { }

    FileStream fs = File.OpenRead(plik_wejscowy.get_audio_samp(current_sample));
    byte[] temp = new byte[44];
    fs.Read(temp, 0, 44);
    long lf = 44 + BitConverter.ToInt32(temp, 40);
    length = lf + BitConverter.ToInt32(temp, 28);
    audio_buffer = new byte[length];
    for (long i = 0; i < length; i++)
    {
        audio_buffer[i] = 0;
    }
    fs.Position = 0;
    fs.Read(audio_buffer, 0, (int)lf);
    fs.Close();

    _hGCHandle = GCHandle.Alloc(audio_buffer, GCHandleType.Pinned);

    Asio_Setup(urzadzenie);

    if (!BassAsio.BASS_ASIO_Start(0))
    {
        BASSError blad = BassAsio.BASS_ASIO_ErrorGetCode();
        MessageBox.Show("błąd odtwarzania: " + blad.ToString());
    }

    if (!File.Exists(@"log.txt"))
    {
        using (StreamWriter writer = new StreamWriter(@"log.txt", true))
        {
            string tmp = "log file for experiment";
            writer.WriteLine(tmp);
        }
    }
    try
    {
        using (StreamWriter writer = new StreamWriter(@"log.txt", true))
        {
            string date_time = DateTime.Now.ToString();
            string tmp = date_time + " poprawnie rozpoczęcie odtwarzania sampli: \n\t" +
            plik_wejscowy.get_video_samp(current_sample) + "\n\t" + plik_wejscowy.get_audio_samp(current_sample);
            writer.WriteLine(tmp);
        }
    }
    catch
    { }

    timer1.Interval = audio_stoper_length;
    timer1.Enabled = true;
}

```

Listing 3. Funkcja przygotowanie_odtwarzania

```

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    BassAsio.BASS_ASIO_Stop();
    _hGCFile.Free();
    GC.Collect();

    Visual_Taking_Response();
    System.Threading.Thread.Sleep(200);
    timer1.Enabled = false;
}

```

Listing 4. Funkcja timer1_Tick

```

public void Ustawienie_probek()
{
    current_sample++;
    if (current_sample==plik_wejscowy.Num_samples)
    {
        String check;
        using (StreamReader sr = new StreamReader("temp.csv"))
        {
            check = sr.ReadLine();
            sr.Close();
        }
        if(check=="1")
        {
            using (StreamWriter writer = new StreamWriter("temp.csv", false))
            {
                string temp = "2";
                writer.WriteLine(temp);
                writer.Close();
            }
        }
        if(check=="2")
        {
            using (StreamWriter writer = new StreamWriter("temp.csv", false))
            {
                string temp = "1";
                writer.WriteLine(temp);
                writer.Close();
            }
            Pytanie dlg = new Pytanie();
            dlg.ShowDialog();
            String preferencja;
            using (StreamReader sr = new StreamReader("temp2.csv"))
            {
                preferencja = sr.ReadLine();
                sr.Close();
            }
            VarOutFile.Add_Line(plik, dodaj_date, plik_wejscowy.file_path, 31,
                                "no video", "preferencja", preferencja);
        }
        Visual_Setup();
    }
    else
    {
        Visual_Presenting_Sample();

        przygotowanie_odtworzenia();
    }
}

```

Listing 5. Funkcja Ustawienie_probek

```

public void zapisz_odpowiedz(object sender, EventArgs e)
{
    var b = (Button)sender;
    string v;
    string a;
    a = plik_wejscowy.get_audio_samp(current_sample);
    v = "No Video";
    VarOutFile.Add_Line(plik, dodaj_date, plik_wejscowy.file_path, current_sample, v, a,
                        b.Text);

    dodaj_date = false;
    Ustawienie_probek();
}

```

Listing 6. Funkcja zapisz_odpowiedz

```

public Cat_Audio_Form()
{
    InitializeComponent();

    this.Left=Screen.AllScreens[0].WorkingArea.Left;
    this.Top = Screen.AllScreens[0].WorkingArea.Top;
    this.Width = szer;
    this.Height = wys;
    SetupPanel.Visible = true;
    ResponsePanel.Visible = false;

    BassNet.Registration("qacpiweb@gmail.com", "2X03111815222");
    int liczba = Un4seen.BassAsio.BassAsio.BASS_ASIO_GetDeviceCount();
    for (int i=0; i<liczba;i++)
    {
        listDevices.Items.Add(Un4seen.BassAsio.BassAsio.BASS_ASIO_GetDeviceInfo(i).name);
    }
    try
    {
        listDevices.SelectedIndex = 0;
    }
    catch { }
    directory = Application.StartupPath;

    tBCD.Text = directory;
    stoper_freq = Stopwatch.Frequency;
    delta_tick = stoper_freq / 25;
    Visual_Setup();
}

```

Listing 7. Konstruktor Cat_Audio_Form


```

public void Asio_Setup(int dev)
{
    if (!(dev == -1))
    {
        BassAsio.BASS_ASIO_Free();
        Bass.BASS_Free();
        BassAsio.BASS_ASIO_SetDevice(dev);

        if (!BassAsio.BASS_ASIO_Init(dev, 0))
        {
            BASSError blad = BassAsio.BASS_ASIO_ErrorGetCode(); MessageBox.Show("błąd
inicjalizacji: " + blad.ToString());
        }
        else
        {
            Bass.BASS_Init(-1, 48000, BASSInit.BASS_DEVICE_DEFAULT, IntPtr.Zero);

            int strumien = Bass.BASS_StreamCreateFile(_hgCFile.AddrOfPinnedObject(), 0L, length,
BASSFlag.BASS_STREAM_DECODE | BASSFlag.BASS_SAMPLE_FLOAT);
            _myAsioProc = new Un4seen.BassAsio.ASIOPROC(AsioCallback);
            if (binaural)
            {
                BassAsio.BASS_ASIO_ChannelEnable(false, Convert.ToInt16(textBox1.Text),
_myAsioProc, new IntPtr(strumien));
            }
            else
            {
                BassAsio.BASS_ASIO_ChannelEnable(false, 0, _myAsioProc, new IntPtr(strumien));
            }

            int num_ch = 0;

            if (binaural)
            {
                first_ch = Convert.ToInt16(textBox1.Text);
                num_ch = 2;
            }
            else
            {
                num_ch = BitConverter.ToUInt16(audio_buffer, 22);
                first_ch = 0;
            }

            for (int i = first_ch; i < num_ch + first_ch; i++)
            {
                BassAsio.BASS_ASIO_ChannelSetFormat(false, i,
BASSASIOFormat.BASS_ASIO_FORMAT_FLOAT);
            }
            for (int i = first_ch + 1; i < num_ch + first_ch; i++)
            {
                BassAsio.BASS_ASIO_ChannelJoin(false, i, first_ch);
            }
        }
    }
}

```

Listing 8. Funkcja Asio_Setup

```

private void bLoadInputFile_Click(object sender, EventArgs e)
{
    OpenFileDialog oInputFileDialog = new OpenFileDialog();
    oInputFileDialog.Filter = "Text Files (.txt)|*.txt";
    oInputFileDialog.FilterIndex = 0;
    oInputFileDialog.Multiselect = false;
    oInputFileDialog.InitialDirectory = @"\\input";

    if (oInputFileDialog.ShowDialog() == DialogResult.OK)
    {
        plik_wejscowy = new InputFile(oInputFileDialog.FileName);
        tInputFile.Text = oInputFileDialog.FileName;
        numStartSample.Minimum = 0;
        numStartSample.Maximum = plik_wejscowy.Num_samples - 1;
        numStartSample.Value = 0;
    }
}

```

Listing 9. Funkcja bLoadInputFile_Click

```

private void bExperStart_Click(object sender, EventArgs e)
{
    plik = VarOutFile.CreateFile(tName.Text, tSurname.Text, tAge.Text, tBCD.Text);
    lInstructions.Text = plik_wejscowy.Question;
    Visual_Presenting_Sample();
    Dialog dlg = new Dialog(plik_wejscowy.Instructions);
    dlg.ShowDialog();

    int liczba = Un4seen.BassAsio.BassAsio.BASS_ASIO_GetDeviceCount();
    urzadzenie = -1;
    for (int i = 0; i < liczba; i++)
    {
        if (listDevices.Items[listDevices.SelectedIndex].ToString() ==
            Un4seen.BassAsio.BassAsio.BASS_ASIO_GetDeviceInfo(i).name) { urzadzenie = i; }
    }

    current_sample = Convert.ToInt32(numStartSample.Value);
    dodaj_date = true;
    przygotowanie_odtwarzania();
}

```

Listing 10. Funkcja bExperStart_Click

```

private void Cat_Audio_Form_KeyDown(object sender, KeyEventArgs e)
{
    switch (e.KeyCode)
    {
        case Keys.Oemtilde:
            button1.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D1:
            button2.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D2:
            button3.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D3:
            button4.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D4:
            button5.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D5:
            button6.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D6:
            button7.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D7:
            button8.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D8:
            button9.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D9:
            button10.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
        case Keys.D0:
            button11.PerformClick();
            this.KeyPreview = false;
            break;
    }
}

```

Listing 11. Funkcja Cat_Audio_Form_KeyDown

10. Dodatek B - Wyniki testów post hoc

TukeyHSD(fit)

```
## Tukey multiple comparisons of means
## 95% family-wise confidence level
##
## Fit: aov(formula = model, data = odsuchm)
##
## $prezentacja
##      diff      lwr      upr      p adj
## bin-amb -0.82 -1.283967 -0.3560331 0.0005611
##
## $preferencje
##      diff      lwr      upr      p adj
## bin-amb 0.411039 -0.05630497 0.8783829 0.0846011
##
## $rezyseria
##      diff      lwr      upr      p adj
## tak-nie -0.4562771 -0.9298112 0.01725713 0.0589186
##
## $`prezentacja:preferencje`
##      diff      lwr      upr      p adj
## bin:amb-amb:amb -0.8636364 -1.7813296 0.05405691 0.0735652
## amb:bin-amb:amb 0.3720779 -0.4950607 1.23921656 0.6859392
## bin:bin-amb:amb -0.4136364 -1.2807750 0.45350227 0.6082634
## amb:bin-bin:amb 1.2357143 0.3685757 2.10285292 0.0015097
## bin:bin-bin:amb 0.4500000 -0.4171386 1.31713863 0.5392752
## bin:bin-amb:bin -0.7857143 -1.5991624 0.02773386 0.0627155
##
## $`prezentacja:rezyseria`
##      diff      lwr      upr      p adj
## bin:nie-amb:nie -0.8075325 -1.7700173 0.15495235 0.1351851
## amb:tak-amb:nie -0.4458874 -1.3245119 0.43273697 0.5581083
## bin:tak-amb:nie -1.2741991 -2.1528235 -0.39557472 0.0011822
## amb:tak-bin:nie 0.3616450 -0.5169794 1.24026944 0.7134025
## bin:tak-bin:nie -0.4666667 -1.3452911 0.41195775 0.5193473
## bin:tak-amb:tak -0.8283117 -1.6141773 -0.04244612 0.0343271
##
## $`preferencje:rezyseria`
##      diff      lwr      upr      p adj
## bin:nie-amb:nie 1.4666667 0.4843347 2.4489986 0.0007727
## amb:tak-amb:nie 0.3266667 -0.5948424 1.2481757 0.7974923
## bin:tak-amb:nie 0.1966667 -0.5891989 0.9825322 0.9172322
## amb:tak-bin:nie -1.1400000 -2.1608693 -0.1191307 0.0216189
## bin:tak-bin:nie -1.2700000 -2.1703221 -0.3696779 0.0017340
## bin:tak-amb:tak -0.1300000 -0.9635363 0.7035363 0.9779971
##
```

```
## $`prezentacja:preferencje:rezyseria`
##               diff               lwr               upr               p adj
## bin:amb:nie-amb:amb:nie -0.7333333 -2.20060658  0.7339399 0.7957317
## amb:bin:nie-amb:amb:nie  1.5750000 -0.06546136  3.2154614 0.0703242
## bin:bin:nie-amb:amb:nie  0.6250000 -1.01546136  2.2654614 0.9427465
## amb:amb:tak-amb:amb:nie  0.4700000 -1.06888916  2.0088892 0.9830840
## bin:amb:tak-amb:amb:nie -0.5500000 -2.08888916  0.9888892 0.9591836
## amb:bin:tak-amb:amb:nie  0.1900000 -1.12236909  1.5023691 0.9998534
## bin:bin:tak-amb:amb:nie -0.5300000 -1.84236909  0.7823691 0.9229514
## amb:bin:nie-bin:amb:nie  2.3083333  0.66787197  3.9487947 0.0005821
## bin:bin:nie-bin:amb:nie  1.3583333 -0.28212803  2.9987947 0.1891895
## amb:amb:tak-bin:amb:nie  1.2033333 -0.33555583  2.7422225 0.2533692
## bin:amb:tak-bin:amb:nie  0.1833333 -1.35555583  1.7222225 0.9999608
## amb:bin:tak-bin:amb:nie  0.9233333 -0.38903575  2.2357024 0.3896103
## bin:bin:tak-bin:amb:nie  0.2033333 -1.10903575  1.5157024 0.9997690
## bin:bin:nie-amb:bin:nie -0.9500000 -2.74703538  0.8470354 0.7446890
## amb:amb:tak-amb:bin:nie -1.1050000 -2.80981745  0.5998175 0.5012809
## bin:amb:tak-amb:bin:nie -2.1250000 -3.82981745 -0.4201825 0.0041146
## amb:bin:tak-amb:bin:nie -1.3850000 -2.88850767  0.1185077 0.0962925
## bin:bin:tak-amb:bin:nie -2.1050000 -3.60850767 -0.6014923 0.0006375
## amb:amb:tak-bin:bin:nie -0.1550000 -1.85981745  1.5498175 0.9999938
## bin:amb:tak-bin:bin:nie -1.1750000 -2.87981745  0.5298175 0.4176136
## amb:bin:tak-bin:bin:nie -0.4350000 -1.93850767  1.0685077 0.9876798
## bin:bin:tak-bin:bin:nie -1.1550000 -2.65850767  0.3485077 0.2749108
## bin:amb:tak-amb:amb:tak -1.0200000 -2.62731731  0.5873173 0.5296521
## amb:bin:tak-amb:amb:tak -0.2800000 -1.67197762  1.1119776 0.9987142
## bin:bin:tak-amb:amb:tak -1.0000000 -2.39197762  0.3919776 0.3614975
## amb:bin:tak-bin:amb:tak  0.7400000 -0.65197762  2.1319776 0.7391670
## bin:bin:tak-bin:amb:tak  0.0200000 -1.37197762  1.4119776 1.0000000
## bin:bin:tak-amb:bin:tak -0.7200000 -1.85654497  0.4165450 0.5319584
```

Listing 12. Wyniki testów post hoc