

Załącznik 2 PL

Do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

AUTOREFERAT AKADEMICKI

Sławomir Krzysztof Zieliński

Podpis autora:



Białystok, 18 marca 2016 r.

SPIS TREŚCI

1. ZATRUDNIENIE.....	1
2. WYKSZTAŁCENIE	1
3. OPIS PRAC NAUKOWO-BADAWCZYCH PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA	2
4. OPIS PRAC NAUKOWO-BADAWCZYCH PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA.....	2
4.1. Prace autora prowadzone w Politechnice Gdańskiej (1998-2000)	3
4.2. Prace autora prowadzone w Uniwersytecie Surrey (2000-2009)	4
4.3. Prace autora prowadzone w Politechnice Białostockiej (2014-2016).....	18
5. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE BĘDĄCE WKŁADEM AUTORA DO ROZWOJU DZIEDZINY	19
5.1. Cykl publikacji dotyczących osiągnięcia naukowego	19
5.2. Geneza osiągnięcia naukowego	20
5.3. Przegląd cyklu publikacji dotyczących osiągnięcia naukowego.....	23
5.4. Wpływ cyklu publikacji	36
5.5. Udział autora	37
6. WYKAZ INNYCH OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH ORAZ WSKAŹNIKI DOKONAŃ NAUKOWYCH.....	38
6.1. Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe.....	38
6.2. Sumaryczny <i>Impact Factor</i> oraz pozostałe dane bibliometryczne	39
6.3. Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach.....	42
6.4. Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	43
6.5. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach	43
7. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA ORAZ ORGANIZACYJNA.....	45
7.1. Działalność dydaktyczna	45
7.2. Działalność organizacyjna	46
8. WYKAZ PRAC NAUKOWYCH	47
8.1. Prace przed uzyskaniem stopnia doktora.....	47
8.2. Prace po uzyskaniu stopnia doktora.....	48

1. ZATRUDNIENIE

1992 – 2000	POLITECHNIKA GDAŃSKA Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Katedra Inżynierii Dźwięku i Obrazu (obecnie Katedra Systemów Multimedialnych)	asystent adiunkt	1992 – 1998 1998 – 2000
1998 – 1999	POLSKO-JAPOŃSKA WYŻSZA SZKOŁA TECHNIK KOMPUTEROWYCH W WARSZAWIE Katedra Multimediów	zatrudnienie dodatkowe na podstawie umów o dzieło prowadzenie wykładów i zajęć laboratoryjnych	
2000 – 2009	UNIwersytet SURREY Institute of Sound Recording Guildford, Wielka Brytania	Research Fellow Lecturer	2000 – 2003 2003 – 2009
2009 – do chwili obecnej	ZESPÓŁ SZKÓŁ TECHNICZNYCH W SUWAŁKACH	nauczyciel przedmiotów zawodowych branży teleinformatycznej	
2014 – do chwili obecnej	POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA Wydział Informatyki Katedra Mediów Cyfrowych i Grafiki Komputerowej	adiunkt	

2. WYKSZTAŁCENIE

1997	STOPIEŃ DOKTORA NAUK TECHNICZNYCH W ZAKRESIE TELEKOMUNIKACJI Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki <i>Tytuł rozprawy: „Parametry modeli falowodowych puszczatek a jakość dźwięku organowego”</i> Promotor: dr hab. inż. Andrzej Czyżewski, Politechnika Gdańska Recenzenci: dr hab. inż. Andrzej Dobrucki, Politechnika Wrocławska dr hab. inż. Roman Salamon, Politechnika Gdańska		
1992	TYTUŁ MAGISTRA INŻNIERA TELEKOMUNIKACJI Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki		

1993	UKOŃCZENIE PODYPLOMOWEGO STUDIUM PEDAGOGICZNEGO Politechnika Gdańska
-------------	--

3. OPIS PRAC NAUKOWO-BADAWCZYCH PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA

Po ukończeniu studiów magisterskich w roku 1992 autor niniejszego autoreferatu podjął pracę jako asystent w Katedrze Inżynierii Dźwięku (obecnie Katedra Systemów Multimedialnych) na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Jego opiekunami naukowymi byli Prof. Andrzej Czyżewski oraz Prof. Bożena Kostek.

Pierwsza publikacja autora autoreferatu, napisana we współautorstwie z wyżej wymienionymi mentorami naukowymi, dotyczyła zastosowań sztucznej inteligencji do analizy sygnału muzycznego [2]ⁱ. Kolejne publikacje skoncentrowane były na eksploracji nowych metod syntezy dźwięku [3]-[5]. Prace te pozwoliły autorowi zawęzić obszar badań i wyodrębnić stosunkowo wąską dziedzinę poszukiwań naukowych, dotyczącą syntezy dźwięku w oparciu o uproszczone modelowanie fizyczne instrumentów muzycznych. W ten sposób rozpoczął on badania, które zaowocowały serią publikacji konferencyjnych [7]-[16], publikacją w czasopiśmie naukowym [1] oraz rozprawą doktorską pod tytułem „Parametry modeli falowodowych piszczatek a jakość dźwięku organowego” obronioną z wyróżnieniem w Politechnice Gdańskiej w roku 1997. Rok później jego rozprawa doktorska została nagrodzona przez Prezesa Rady Ministrów.

4. OPIS PRAC NAUKOWO-BADAWCZYCH PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA

Prace naukowo-badawcze wykonane przez autora niniejszego autoreferatu po uzyskaniu stopnia doktora opisane zostały poniżej z podziałem na trzy etapy. Wpierw zaprezentowano wyniki prac autora w czasie jego zatrudnienia w Politechnice Gdańskiej, następnie przedstawiono efekty prac uzyskanych podczas zatrudnienia w Uniwersytecie Surrey, a na koniec zaprezentowano efekty działań naukowych w Politechnice Białostockiej.

ⁱ W nawiasach kwadratowych podano odnośniki do listy publikacji umieszczonej na końcu autoreferatu.

4.1. Prace autora prowadzone w Politechnice Gdańskiej (1998-2000)

a. Zastosowanie sztucznej inteligencji do usuwania niepożądanego echa

W czasie rozpoczęcia prac nad tematyką zastosowań sztucznej inteligencji przez autora autoreferatu, usunięcie niepożądanego echa z sygnałów muzycznych pozostawało wciąż zagadnieniem nierozwiązanym. Wychodząc naprzeciw wspomnianemu wyzwaniu autor autoreferatu wraz z zespołem badawczym z Katedry Inżynierii Dźwięku podjął próbę usunięcia echa stosując jedną z metod sztucznej inteligencji, mianowicie metodę opartą na algorytmach genetycznych. Wyniki badań pokazały, że algorytmy genetyczne mogą być skutecznie zastosowane w prostych sytuacjach, gdy sygnał akustyczny zawiera jedynie pojedyncze echo. Uzyskane wyniki zostały opisane w siedmiu następujących publikacjach.

- PG1 **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *A Method for Echo Cancellation in Audio Signals Using the Genetic Algorithm*. Joint Meeting, 137th regular meeting of the Acoustical Society of America and the 2nd convention of the EAA: Forum Acusticum - integrating the 25th German Acoustics DAGA Conference, Berlin, Germany, 14-19.03.1999. ⁱⁱ
- PG2 **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *A Novel Approach to Echo Cancellation*. Presented at Audio Engineering Society 106th Convention, Preprint No. 4901, Munich, Germany, 8-11.05.1999.
- PG3 **S. ZIELIŃSKI**, *New Method of Echo Cancellation*. Materiały konferencyjne VIII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku, str. 31-34, Gdańsk, 9-11.09.1999.
- PG4 Czyżewski, R. Królikowski, **S. ZIELIŃSKI**, B. Kostek, *Echo and Noise Reduction Methods for Multimedia Communication Systems*. IEEE Signal Processing Society 1999 Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 239-244, Copenhagen, Denmark, 13-15.09.1999.
- PG5 A. Czyżewski, R. Królikowski, **S. ZIELIŃSKI**, B. Kostek, *Intelligent Echo and Noise Reduction*. 3rd World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI'99) and the 5th International Conference on Information System Analysis and Synthesis (ISAS'99), Vol. 4, pp. 234-238, Orlando, USA, 31.07-4.08.1999.
- PG6 A. Czyżewski, **S. ZIELIŃSKI**, R. Królikowski, *Intelligentne metody redukcji szumu i echa w sygnale fonicznym*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Systemy i Technologie Telekomunikacji Multimedialnej STM 2000, str. 279-284, Łódź, 14-15.03.2000.
- PG7 A. Czyżewski, **S. ZIELIŃSKI**, *Dereverberation Based on the Genetic Algorithm*. 17th International Congress on Acoustics, Rome, Italy, pp. 132-133, 2-7.09.2001.

ⁱⁱ Skrót PG oznacza, że publikacja została opracowana w Politechnice Gdańskiej.

b. Badanie wpływu obrazu na percepcję dźwięku

Rozwój techniczny końca ubiegłego wieku zaowocował zwiększeniem wymiarów domowych ekranów telewizyjnych oraz wprowadzeniem technologii dźwięku dookólnego do kin i domów. Niektórzy inżynierowie i naukowcy zadawali wówczas pytania dotyczące tego, w jaki sposób należy realizować produkcje audio-wizualne, aby uniknąć u odbiorców niepożądanych efektów wywołanych brakiem koherencji lokalizacyjnej pomiędzy dźwiękiem i obrazem. Technologia wyprzedziła ówczesne zrozumienie zjawisk percepcyjnych związanych z odbiorem przestrzennego dźwięku i obrazu. Zainspirowany przez swoich opiekunów naukowych autor autoreferatu wraz z innymi pracownikami Katedry podjął próbę zbadania wspomnianego wyżej zjawiska w kontekście kina domowego. Eksperymenty pokazały, że bodźce wizualne wpływają na lokalizację źródeł dźwięku. Wpływ ten dotyczy zarówno kierunku jak i odległości źródła dźwięku. Odpowiednio dobrany bodziec wizualny jest w stanie skupić uwagę słuchacza na tyle, że lokalizuje on źródła dźwięku bliżej wspomnianego bodźca wizualnego, a zatem w innym miejscu niż rzeczywiste źródło dźwięku. Opisane zjawisko zależy w dużym stopniu od badanej osoby. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane w następujących dwóch doniesieniach konferencyjnych.

PG8 P. Ody, A. Kornacki, **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *Wpływ obrazu na lokalizację pozornych źródeł dźwięku*. Materiały konferencyjne VII Sympozjum z cyklu Nowości w Technice Audio, str. 13-20, Warszawa-Torwar, 6-7.10.2000.

PG9 Czyżewski, A. Kornacki, B. Kostek, P. Ody, **S. ZIELIŃSKI**, *Influence of visual cues on the perception of surround sound*. 139th Meeting of the Acoustical Society of America, J. Acoust. Soc. Amer., No. 5, Vol. 107, Preprint No. 3aPP14, p.2851, Atlanta, GA, USA, 30.5-3.06.2000. (*streszczenie konferencyjne*).

Tematyka wpływu obrazu na percepcję dźwięku przestrzennego, w nieco innej formie, kontynuowana była przez autora autoreferatu po zmianie jego miejsca zatrudnienia, o czym napisano szerzej w kolejnym rozdziale.

4.2. Prace autora prowadzone w Uniwersytecie Surrey (2000-2009)

W roku 2000 autor niniejszego autoreferatu podjął zatrudnienie jako pracownik naukowy (*Research Fellow*) w ramach trzyletniego projektu badawczego w Instytucie Nagrań Dźwięku Uniwersytetu Surrey w Wielkiej Brytanii. Celem projektu było zbadanie efektów kompromisu pomiędzy parametrami technicznymi a jakością wielokanałowych konsumenckich systemów audio-wizualnych (*Subjective quality trade-offs in consumer multichannel sound and video delivery systems*). Projekt ten realizowany był we współpracy z dwoma partnerami przemysłowymi: działem badawczym *BBC* oraz z działem badawczym duńskiej firmy produkującej systemy audio-wizualne *Bang & Olufsen*. Trzy lata później autor został zatrudniony jako wykładowca w tym samym ośrodku, kontynuując i poszerzając badania rozpoczęte w ramach wspomnianego wyżej projektu.

a. Badanie efektu ograniczenia pasma w konsumenckich systemach dźwięku dookólnego

W czasie rozpoczęcia pracy autora w Uniwersytecie Surrey w technice audio wyłaniały się dwa trendy. Pierwszy z nich polegał na dalszym udoskonaleniu jakości dostarczanego do konsumentów dźwięku (formaty *DVD-Audio* oraz *Super Audio CD*), natomiast drugi dotyczył kontrolowanego obniżenia jakości dostarczanego dźwięku w celu uzyskania ekonomicznych korzyści podczas transmisji lub archiwizacji dźwięku oraz w celu uzyskania oszczędności płynących z uproszczonego wytwarzania wielokanałowych systemów dźwiękowych. Wspomniany projekt osadzony był w kontekście drugiego trendu audio, czyli kontrolowanego obniżenia jakości dźwięku przestrzennego.

Jednym z ważniejszych zadań w ramach rozpoczętego projektu było ilościowe oszacowanie wpływu zawężenia pasma częstotliwościowego w poszczególnych kanałach głośnikowych na uzyskiwaną jakość dźwięku dookólnego. W tym celu przeprowadzono serię testów odsłuchowych przy udziale jury składającego się z grupy przeszkolonych słuchaczy (jurorów) w oparciu o standardową metodologię badawczą rekomendowaną przez *Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (International Telecommunication Union – ITU)* oraz *Europejską Unię Nadawców (European Broadcasting Union)*. Uzyskane wyniki pokazały, że jednoczesne i równomierne ograniczenie górnej części pasma wszystkich kanałów dźwięku dookólnego powoduje dużą utratę jakości dźwięku. Podobnie też zawężenie wysokich częstotliwości w przednim lewym i w przednim prawym kanale głośnikowym również skutkuje dużym pogorszeniem jakości. Jednakże ograniczenie pasma w przednim centralnym kanale lub w kanałach dookólnych (lewym i prawym) powoduje małą utratę jakości dźwięku [S1, S2]ⁱⁱⁱ. Podobne wyniki uzyskano w eksperymentach, w których zawężano dolną część pasma częstotliwościowego [S3].

S1 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Effects of bandwidth limitation on audio quality in consumer multichannel audio-visual delivery systems*. *Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 51, 6, pp. 475–501, 2003.

S2 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Subjective audio quality trade-offs in consumer multichannel audio-visual delivery systems. Part I: Effects of high frequency limitation*. Presented at Audio Engineering Society 112th Convention, Paper 5562, Munich, Germany, 10-13.03.2002.

S3 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Subjective audio quality trade-offs in consumer multichannel audio-visual delivery systems. Part II: Effects of low frequency limitation*. Presented at Audio Engineering Society 22nd International Conference on Virtual, Synthetic and Entertainment Audio, Espoo, Finland, 15-17.06.2002.

Zalecenie płynące z uzyskanych wyników jest następujące: w sytuacjach, w których ograniczenie pasma dźwięku wielokanałowego jest nieuchronne, np. ze względów technicznych lub ekonomicznych, w pierwszej kolejności powinno się zawęzić pasmo kanału głośnika centralnego lub pasmo kanałów dookólnych, gdyż równomierne ograniczenie pasma wszystkich kanałów lub ograniczenie pasma kanału przedniego lewego i przedniego prawego skutkuje dużymi utratami jakości dźwięku.

ⁱⁱⁱ Literą S oznaczono publikacje opracowane w Uniwersytecie Surrey.

Oprócz zawężania pasma poszczególnych kanałów głośnikowych, alternatywną metodą redukcji całkowitego pasma częstotliwościowego dźwięku dookólnego jest zmniejszenie liczby transmitowanych kanałów przyporządkowanych poszczególnym głośnikom poprzez zastosowanie tzw. algorytmów *down-mixu*. Algorytmy te zostały zdefiniowane w ówczesnym standardzie *Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego* (ITU-R Recommendation BS. 775-1, 1994). Spośród ośmiu przebadanych algorytmów *down-mixu* algorytmami powodującymi najmniejszą utratę jakości dźwięku okazał się algorytm 3/1 oraz algorytm 3/0. Uzyskane wyniki zależą od przestrzennej charakterystyki transmitowanego dźwięku. W przypadku niektórych nagrań zadowalające wyniki redukcji całkowitego pasma transmitowanego dźwięku uzyskać również można za pomocą algorytmu 2/2 oraz algorytmu 1/2. Uzyskane rezultaty zostały szczegółowo opisane w publikacjach S4 oraz S5.

- S4 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Effects of down-mix algorithms on quality of surround sound*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 9, pp. 780-798, 2003.
- S5 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Comparison of quality degradation effects caused by limitation of bandwidth and by down-mix algorithms in consumer multichannel audio delivery systems*. Presented at Audio Engineering Society 114th Convention, Paper 5802, Amsterdam, Netherlands, 22-25.03.2003.

Cechą wyróżniającą prace badawcze opisane w niniejszym podrozdziale jest opublikowanie szczegółowych danych ilościowych ilustrujących wpływ ograniczenia pasma na jakość uzyskiwanego dźwięku dookólnego. Opublikowane wyniki mogą być przydatne dla nadawców, np. do celów zarządzania pasmem dźwięku dookólnego, dla producentów zestawów głośnikowych kina domowego lub dla projektantów algorytmów kompresji dźwięku przestrzennego.

b. Optymalizacja hierarchicznych algorytmów ograniczania pasma wielokanałowych systemów dźwiękowych

Dr Peter Craven, współtwórca jednej z metod kompresji dźwięku wielokanałowego (*Meridian Lossless Packing*), przyglądając się bliżej wynikom zaprezentowanym w wyżej cytowanej publikacji S5 zasugerował, że zastosowana przez autorów metoda redukcji pasma mogłaby być udoskonalona poprzez wykorzystanie inteligentniejszego algorytmu przetwarzania sygnałów^{iv}. W dotychczasowych eksperymentach zawężenie pasma dźwięku dookólnego realizowane było poprzez bezpośrednią filtrację sygnałów przyporządkowanych do poszczególnych głośników. Zgodnie z zasugerowaną hipotezą Cravena lepsze wyniki, pod względem jakości dźwięku, można by uzyskać poprzez przetransformowanie sygnałów z oryginalnej postaci sygnałów głośnikowych do hierarchicznej przestrzeni sygnałowej, a następnie dokonanie zawężenia pasma używając do tego celu sygnałów z nowej (przetransformowanej) przestrzeni sygnałowej, przydzielając szersze pasmo „ważniejszym” sygnałom i węższe pasmo sygnałom o „niższym priorytecie”. Po dokonaniu redukcji pasma sygnały należałoby przetransformować z powrotem do dziedziny sygnałów głośnikowych.

W celu zweryfikowania powyższej hipotezy wykonano serię eksperymentów pod kierownictwem autora niniejszego autoreferatu w ramach odrębnego projektu badawczego (*Hierarchical Bandlimitation of*

^{iv} korespondencja prywatna (Wielka Brytania, rok 2003)

Surround Sound – A Psychoacoustical Study). W przedsięwzięciu tym autor autoreferatu pełnił zarówno rolę kierownika projektu, jak również promotora pomocniczego (*co-supervisor*) pracy doktorskiej studenta Yu Jiao.

Uzyskane wyniki potwierdziły hipotezę Cravena. Redukcja pasma przeprowadzona w dziedzinie hierarchicznie przetransformowanych sygnałów skutkowała mniejszym pogorszeniem jakości dźwięku dookólnego, niż miało to miejsce w przypadku oryginalnie zastosowanej metody. Do celów transformacji sygnałów z dziedziny głośnikowej do dziedziny hierarchicznej początkowo wykorzystano zasugerowaną przez Cravena transformację *MSBTF*, co zostało opisane w szczegółach w publikacjach S6-S8. W kolejnych pracach zastosowano, a następnie zoptymalizowano psychoakustycznie inną metodę transformacji hierarchicznej sygnałów wielokanałowych, mianowicie transformację Karhunen-Lòevego (*KLT*). Wyniki uzyskane przy pomocy transformacji *KLT* przewyższyły pod względem jakości dźwięku wyniki uzyskane przy pomocy transformacji *MSBTF*, co zostało udokumentowane w publikacjach S9-S12.

Ogólnym wnioskiem płynącym z uzyskanych wyników jest to, że w sytuacji, gdzie ograniczenie pasma sygnałów dźwięku przestrzennego jest nieuchronne, na przykład ze względów ekonomicznych, zawężenie pasma powinno być wykonane nie bezpośrednio na sygnałach przyporządkowanych poszczególnym głośnikom, lecz pośrednio, w hierarchicznie uporządkowanej przestrzeni sygnałowej.

- S6 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part I: Psychoacoustically Hierarchical Transform*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 12, pp. 1057-1068, December, 2008.
- S7 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part II: Optimisation of Bandwidth Allocation Strategy*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 57, 1/2, pp. 5-15, January/February, 2009.
- S8 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Quality Degradation Effects Caused by Limiting the Bandwidth of Standard Surround Sound Channels and Hierarchically Encoded MSBTF Channels: a Comparative Study*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6685, Paris, France, 20-23.05.2006.
- S9 L. Henning, Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Perceptual Importance of Karhunen-Loeve Transformed Multichannel Audio Signals*. Presented at Audio Engineering Society 121st Convention, Paper 6964, San Francisco, CA, USA, 5-8.10.2006
- S10 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Signal Dependent and Independent Hierarchical Encoding Techniques: a Comparative Study*. Audio Engineering Society 22nd UK conference, Cambridge, 11-12.04.2007.
- S11 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Adaptive Karhunen-Loeve Transform for Multichannel Audio*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7298, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.

S12 Y. Jiao, S. ZIELIŃSKI, F. Rumsey, *Optimal Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound*. Presented at Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7298, Amsterdam, The Netherlands, 17-20.05.2008.

c. Badanie wpływu przekazu wizyjnego i podziału uwagi słuchaczy na ocenę jakości dźwięku

Dotychczasowe badania autora dotyczące interakcji audio-wizualnych zawężone były do analizy zaburzeń lokalizacyjnych pomiędzy bodźcami wizyjnymi i dźwiękowymi, co zostało nadmienione wyżej w rozdziale 4.1.b (Badanie wpływu obrazu na percepcję dźwięku). Chcąc poszerzyć tę tematykę badawczą oraz zgłębić, w jaki sposób obecność przekazu wizyjnego wpływa u słuchaczy na subiektywną ocenę jakości dźwięku, autor autoreferatu wraz z zespołem badawczym przeprowadził serię laboratoryjnych testów odsłuchowych w dwóch warunkach eksperymentalnych: z towarzyszącym przekazem wizyjnym oraz bez przekazu wizyjnego (z wyłączonym monitorem wideo). Uzyskane wyniki pokazały, że obecność przekazu wizyjnego ma na ogół pomijalnie mały wpływ na jakość dźwięku postrzeganą przez słuchaczy (rzędu 3%), co udokumentowano we wcześniej cytowanej publikacji S1. Wyjątkiem jest sytuacja, w której pasmo dźwięku wielokanałowego zawężane jest przy użyciu algorytmów *down-mixu*. W tym przypadku zaobserwowano, że przekaz wizyjny może zmienić u słuchaczy wyniki ocen jakości dźwięku aż do 10%. W przypadku odsłuchu dźwięku dookólnego w optymalnym miejscu odsłuchowym, był to wpływ dodatni (ocena zawyżona pod wpływem odtwarzania sygnału wizyjnego), natomiast przy ocenie jakości dźwięku w miejscu oddalonym o około 1 m od miejsca optymalnego, zaobserwowano wpływ negatywny (zaniżenie ocen). Przyczyną zaistniałych różnic było zaburzenie lokalizacyjnej koherencji audio-wizualnej dla algorytmów wykorzystujących wirtualny głośnik centralny (*Phantom Centre*), co w szczególności zostało opisane we wcześniej cytowanej publikacji S4.

Wnioskiem płynącym z powyższych eksperymentów było to, że wpływ przekazu wizyjnego na ocenę jakości dźwięku jest stosunkowo mały i dlatego też mógłby być pominięty w eksperymentach badających jakość dźwięku dookólnego w konsumenckich systemach dźwięku dookólnego. Pozwoliłoby to na uzyskanie znaczących ekonomicznych oszczędności płynących ze skrócenia czasu trwania takich eksperymentów. Jednak wspomniany wniosek należało traktować z ostrożnością, gdyż procedura eksperymentalna zastosowana w wyżej opisanych badaniach [S1-S4] sprowadzała się do pasywnego odbioru przez uczestników odtwarzanego przekazu wizyjnego. Otwartym pytaniem pozostało więc to, czy wpływ przekazu wizyjnego na ocenę jakości dźwięku dookólnego byłby większy, gdyby uwaga słuchaczy była aktywnie związana z przekazem wizyjnym.

W celu znalezienia odpowiedzi na powyższe pytanie, autor autoreferatu wraz ze współpracownikami wykonał dwa eksperymenty, w których uwaga uczestników była podzielona pomiędzy uczestnictwem w multimedialnej grze komputerowej oraz zadaniem oceniania jakości dźwięku dookólnego. W pierwszym eksperymencie [S13] jakość dźwięku pogorszona została w sposób statyczny (niezmienny w czasie), natomiast w drugim eksperymencie [S14] jakość dźwięku zmieniana była w sposób dynamiczny. Wyniki uzyskane w obu eksperymentach były podobne. Wpływ podziału uwagi słuchaczy na ocenę jakości dźwięku był mały i na ogół nie przekraczał 3%. Jednak w drugim eksperymencie [S14] zaobserwowano, że dla niektórych dynamicznie zmieniających się warunków eksperymentalnych efekt ten może wzrosnąć do 15%.

Można stąd wywnioskować, że takie czynniki, jak obecność sygnału wizyjnego lub podział uwagi słuchaczy mogą być pominięte przy ocenie jakości dźwięku dookólnego. Jeżeli jednak docelowa precyzja pomiarowa takich eksperymentów ma być wysoka (błąd pomiarowy nieprzekraczający 10%), wówczas wymienione wyżej czynniki muszą być wzięte pod uwagę w procedurze badawczej.

S13 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, B. De Bruyn, R. Kassier, *Computer games and multichannel audio quality – the effect of division of attention between auditory and visual modalities*. Presented at Audio Engineering Society 24th International Conference on Multichannel Audio, Banff, Canada, 26-28.06.2003.

S14 R. Kassier, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Computer Games and Multichannel Audio Quality Part II – Evaluation of Time-Variant Audio Degradations under Divided and Undivided Attention*. Presented at Audio Engineering Society 115th Convention, Paper 5856, New York, 10-13.10.2003.

d. Badanie mechanizmów percepcyjnych wpływających na ocenę jakości dźwięku dookólnego

Opisane wyżej eksperymenty pokazywały, „o ile” wybrane czynniki wpływają na ocenę jakości dźwięku wielokanałowego, lecz nie odpowiadały na pytanie, „dlaczego” słuchacze oceniają jakość dźwięku dookólnego w ten, a nie w inny sposób. Chcąc więc poznać bliżej mechanizmy rządzące percepcją oceny jakości dźwięku dookólnego, we współautorstwie z zespołem badawczym autor autoreferatu wykonał eksperyment, w którym do pomiaru charakterystyki dźwięku oprócz standardowej skali wykorzystano trzy dodatkowe skale pomiarowe. Były to skale mierzące wierność brzmieniową, frontową wierność przestrzenną oraz dookólną wierność przestrzenną odtwarzanego dźwięku [S15]. Uzyskane wyniki pomiarowe poddano analizie danych z wykorzystaniem regresji metodą cząstkowych najmniejszych kwadratów. Wyniki pokazały, że dominujący wpływ na ocenę jakości dźwięku dookólnego ma wierność brzmieniowa odtwarzanego dźwięku. Przestrzenna wierność reprodukcji, choć mniej istotna niż wierność brzmieniowa, wpływa w około 30% na ogólną ocenę jakości dźwięku [S16]. Konsumenckie systemy dźwięku wielokanałowego są na ogół optymalizowane pod względem wierności brzmienia. Otrzymane wyniki pokazują zatem, że chcąc uzyskać wysoką jakość dźwięku, aspekt przestrzennej wierności reprodukcji dźwięku nie może być zignorowany przez projektantów takich systemów.

S15 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Comparison of Basic Audio Quality and Timbral and Spatial Fidelity Changes Caused by Limitation of Bandwidth and by Down-mix Algorithms in 5.1 Surround Audio Systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol 53, 3, pp. 174-192, March, 2005.

S16 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech, *On the relative importance of spatial and timbral fidelities in judgments of degraded multichannel audio quality*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 118, 2, pp. 968–976, August, 2005.

W opisanych wyżej eksperymentach do oceny jakości dźwięku wykorzystano grupę jurorów składających się z ekspertów w dziedzinie rejestracji dźwięku lub ekspertów w zakresie krytycznej oceny jakości dźwięku. Istniało zatem przypuszczenie, że uzyskane wyniki były stronnicze i w konsekwencji

odbiegające od ocen szerszej populacji słuchaczy. Chcąc więc zweryfikować wcześniej uzyskane wyniki badań, powyższe eksperymenty powtórzono z udziałem „przeciętnych” słuchaczy, będących potencjalnymi konsumentami wprowadzanych wówczas na rynek systemów kina domowego. Otrzymane wyniki badań były podobne do uzyskanych poprzednio i potwierdziły poprzednią obserwację, że ogólna ocena jakości dźwięku jest w większym stopniu uzależniona od wierności brzmieniowej, a w mniejszym stopniu od przestrzennej wierności reprodukcji dźwięku. Zasadnicza jednak różnica pomiędzy wynikami uzyskanymi w tym oraz w poprzednim eksperymencie dotyczyła wagi, jaką słuchacze przywiązują do obrazu dźwiękowego odtwarzanego z przodu oraz wokół słuchacza. Dla ekspertów priorytetem pod względem jakości odtwarzanego dźwięku przestrzennego była wierność reprodukcji z przodu słuchacza, natomiast „przeciętni” słuchacze przywiązywali większą wagę do wierności reprodukcji dźwięku wokół słuchacza [S17].

S17 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech, *Relationships between experienced listener ratings of multichannel audio quality and naïve listener preferences*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 117, 6, pp. 3832-3840, June, 2005.

e. Badanie jakości kodeków dźwięku dookólnego

Opisane wyżej eksperymenty skoncentrowane były na badaniach jakości dźwięku konsumenckich systemów dźwięku dookólnego, których przykładem jest kino domowe. Lata, w których przeprowadzono niniejsze badania, były okresem narodzin kodeków dźwięku dookólnego. Dlatego też kolejnym naturalnym krokiem rozwojowym prowadzonych wcześniej badań była seria nowych eksperymentów ukierunkowanych na pomiar jakości kodeków dźwięku wielokanałowego. Ówczesne rekomendacje regulujące kwestię oceny dźwięku kodeków percepcyjnych, takie jak ITU-R BS. 1534 oraz ITU-R BS. 1116, opisywały metody pozwalające jedynie na ogólne porównanie kodeków percepcyjnych pod względem jakości dźwięku, nie dając zbyt wiele wglądu w mechanizmy percepcyjne stojące za oceną jakości dźwięku dookólnego poddanego kompresji stratnej.

Pierwszy eksperyment z tej serii zainspirowany był płytą CD opracowaną przez jeden z komitetów technicznych *Stowarzyszenia Inżynierów Dźwięku AES*, demonstrującą niepożądane efekty uboczne towarzyszące kodekom percepcyjnym^v. W eksperymencie tym zbadano jakość dźwięku 2-kanałowych stereofonicznych kodeków zarówno pod względem powszechnie stosowanej w takich badaniach ogólnej jakości dźwięku (*Basic Audio Quality*), jak również stosując kryteria z wyżej wymienionej płyty. Wstępne wyniki pokazały, że na jakość dźwięku kodeków percepcyjnych dominujący wpływ ma rozmycie czasowe odkodowanego dźwięku (*temporal smearing*) oraz efekt zawężenia pasma dźwięku. W mniejszym stopniu jakość dźwięku kodeków percepcyjnych jest zaburzona przez nieliniowe zniekształcenia sygnału popularnie określane mianem „świergotania” (*birdies*) oraz poprzez zniekształcenia przestrzennej charakterystyki dźwięku [S18].

S18 P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *The Relationship Between Selected Artifacts and Basic Audio Quality in Perceptual Audio Codecs*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6745, Paris, France, 20-23.05.2006.

^v AES Technical Committee on Audio Coding, “Perceptual Audio Coders: What to listen for,” CD-ROM with tutorial information and audio examples, Audio Engineering Society Publications, 2001.

Chcąc dokonać walidacji uzyskanych wniosków, powyższy eksperyment wykonano ponownie, tym razem w częściowo zmodyfikowanych warunkach eksperymentalnych. Uzyskane wyniki potwierdziły, że zawężenie pasma sygnału oraz jego rozmycie czasowe są głównymi czynnikami odpowiedzialnymi za pogorszenie jakości dźwięku kodeków percepcyjnych. Efekt „świergotania” oraz efekt zniekształcenia charakterystyki przestrzennej dźwięku oddziałują na jakość dźwięku w mniejszym stopniu [S19].

S19 P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *The Relationship between Basic Audio Quality and Selected Artefacts in Perceptual Audio Codecs – Part II – The Validation Experiment*. Presented at Audio Engineering Society 122nd Convention, Paper 7079, Vienna, Austria, 5-8.05.2007.

Pierwsze dwa eksperymenty w niniejszej serii wykonane były z wykorzystaniem kodeków dwukanałowych (stereofonicznych). W kolejnych eksperymentach użyto nowe, jak na ówczesne czasy, kodeki dźwięku wielokanałowego. Dzięki temu można było dokładniej zbadać wpływ charakterystyki przestrzennej dźwięku na ogólną jakość ocenianego dźwięku, co dało wgląd w mechanizmy percepcyjne stojące za oceną jakości dźwięku uzyskiwanego z pomocą kodeków percepcyjnych. Uzyskane wyniki kolejnych eksperymentów pokazały, że podobnie, jak miało to miejsce w przypadku konsumenckich systemów dźwięku dookólnego, głównym czynnikiem wpływającym na ogólną jakość dźwięku kodeków wielokanałowych jest wierność brzmieniowa odkodowanego dźwięku (*timbral fidelity*). Wierność przestrzenna odkodowanego dźwięku (*spatial fidelity*) jest istotna, lecz drugorzędna z punktu widzenia ogólnej jakości dźwięku badanych kodeków [S20].

S20 P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Unravelling the Relationship between Basic Audio Quality and Fidelity Attributes in Low Bit-Rate Multi-Channel Audio Codecs*. Presented at Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7335, Amsterdam, The Netherlands, 17-20.05.2008.

Kolejny eksperyment miał charakter eksploracyjny. Jego celem była próba odkrycia niezależnych wymiarów percepcyjnej przestrzeni dźwięku odtwarzanego przez kodeki wielokanałowe. Przeprowadzone badania oparte były na statystycznej metodzie skalowania wielowymiarowego (*Multidimensional Scaling*). Wyniki pozwoliły zidentyfikować kilkanaście atrybutów opisujących dźwięk odtwarzany przez kodeki wielokanałowe. Przeprowadzone analizy pokazały, że przestrzeń percepcyjna dźwięku kodeków wielokanałowych może być opisana przy pomocy zaledwie dwóch wzajemnie ortogonalnych wymiarów, mianowicie charakterystyki brzmieniowej oraz charakterystyki przestrzennej [S21].

S21 P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Uncovering the Multidimensional Perceptual Space of Low Bit-Rate Multi-Channel Audio Codecs*. Presented at the Reproduced Sound 24 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 30. Pt. 6. pp. 297-305, Brighton, UK, 20-21.11.2008.

Udział autora autoreferatu w powyższych eksperymentach sprawdzał się do pomocy w planowaniu eksperymentów i w analizie danych. Dodatkowo autor autoreferatu pełnił funkcję promotora pomocniczego studenta Paulo Marinsa, wykonującego powyższe eksperymenty w ramach swojej pracy doktorskiej.

f. Ocena jakości dźwięku samochodowych systemów audio

Podczas zatrudnienia w Uniwersytecie Surrey autor autoreferatu pełnił również rolę promotora pomocniczego studentki Kathryn Beresford, której praca doktorska poświęcona była udoskonalaniu metodologii oceny jakości dźwięku systemów audio instalowanych w kabinach samochodowych. Projekt ten wspierany był przez brytyjski oddział firmy *Harman/Becker Automotive Systems*.

Pierwszy eksperyment w niniejszej serii badań, przeprowadzony był w celu przetestowania ekologicznie motywowanej jedno-bodźcowej metody pomiaru jakości dźwięku oraz w celu sprawdzenia, czy słuchacze oceniają jakość dźwięku w samochodzie inaczej, niż w warunkach laboratoryjnych. W badaniach wzięło udział około 200 słuchaczy. Eksperyment przeprowadzony był w kabinie samochodowej wyposażonej w zestaw audio oraz w specjalistycznym laboratorium odsluchowym. Uzyskane wyniki w samochodzie i w laboratorium były prawie identyczne, co było zaskakujące, biorąc pod uwagę różnice techniczne i akustyczne pomiędzy samochodem i laboratorium. Z punktu widzenia technicznego, poziom jakości dźwięku w laboratorium przewyższał poziom dźwięku w kabinie samochodowej, jednak pomiary tego nie wykazały, co wskazywało na małą czułość pomiarową zastosowanej metody. Czułość zastosowanej metody okazała się na tyle niska, iż nie pozwalała nawet na wykrycie różnic pomiędzy próbkami dźwięku o technicznie zdegradowanej jakości. Bliższa analiza pokazała, iż powodem tego był efekt kompresji skali pomiarowej – zjawisko towarzyszące jedno-bodźcowej metodzie pomiaru jakości dźwięku [S22]. Kolejny eksperyment pokazał, że zastosowanie metody wielo-bodźcowej skutecznie zwiększyło czułość procedury pomiarowej [S23].

S22 K. Beresford, N. Ford, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Contextual effects on sound quality judgements: listening room and automotive environments*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6648, Paris, France, 20-23.05.2006.

S23 K. Beresford, N. Ford, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Contextual effects on sound quality judgements: Part II – multistimulus vs. single stimulus method*. Presented at Audio Engineering Society 121st Convention, Paper 6913, San Francisco, CA, USA, 5-8.10.2006.

g. Przegląd błędów pomiarowych towarzyszących ocenie jakości dźwięku

Jak pokazały wyniki eksperymentów opisanych w poprzednim rozdziale, pomimo dużego nakładu czasu i zasobów ludzkich siła oddziaływania eksperymentalnych efektów ubocznych może być na tyle duża, iż autentyczne efekty mierzone w danym eksperymencie mogą zostać prawie całkowicie zamaskowane poprzez efekty uboczne towarzyszące danej metodzie pomiarowej. Dlatego też, chcąc w przyszłości uniknąć wyżej opisanego problemu, autor autoreferatu postanowił dokonać dogłębnej analizy różnych metod psychometrycznych stosowanych do oceny jakości dźwięku i związanych z nimi efektów ubocznych, co przyjęło formę szeroko zakrojonego interdyscyplinarnego studium literaturowego. Studium to pozwoliło usystematyzować typy błędów towarzyszących poszczególnym metodom pomiarowym, określić sposoby redukcji wpływu wspomnianych błędów oraz pozwoliło zdefiniować metody diagnostyczne, umożliwiające wykrycie potencjalnych błędów pomiarowych. Wnioski z przeprowadzonego studium były zaskakujące, gdyż zakwestionowały wiarygodność niektórych procedur stosowanych w powszechnie

akceptowanych metodach pomiarowych. Poniższa publikacja, zawierająca wyniki przeprowadzonego studium literaturowego, jest obecnie najczęściej cytowanym artykułem autora niniejszego autoreferatu.

- S24 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests – A Review*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 6, pp. 427-451, June, 2008.

Dodatkowe wnioski wynikające ze wspomnianego studium literaturowego zaprezentowano w trzech poniższych publikacjach. W pierwszej z nich autor autoreferatu skupił się na ukazaniu niepożądanego wpływu ocen hedonicznych na wyniki pomiaru jakości dźwięku. W publikacji tej wykazano brak nomenklaturowej spójności w konstrukcji standardowej skali służącej do oceny pogorszenia jakości (*impairment scale*).

- S25 **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Listening Tests*. Proceedings of an international workshop on Spatial Audio and Sensory Evaluation Techniques, University of Surrey, Guildford, UK, 6-7.04.2006. (<http://iosr.surrey.ac.uk/projects/ias/papers/Zielinski.pdf>).

W kolejnej publikacji przedstawiono eksperymentalne dowody na możliwość wystąpienia systematycznych błędów pomiarowych w najbardziej ówczesznie rozpowszechnionej metodzie służącej do oceny jakości dźwięku kodeków percepcyjnych. Zgodnie z uzyskanymi wynikami, błędy te mogą zafałszować autentyczne dane pomiarowe aż o 22%.

- S26 **S. ZIELIŃSKI**, P. Hardisty, Ch. Hummersone, F. Rumsey, *Potential Biases in MUSHRA Listening Tests*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7179, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.

W następnej publikacji zaprezentowano dane eksperymentalne pokazujące, że wielkość błędu pomiarowego wynikającego z nieliniowości standardowych skal, jest mniejsza, niż można wywnioskować z doniesień teoretycznych. W publikacji tej zakwestionowano również przydatność etykiet stosowanych w standardowych skalach oceny jakości dźwięku rekomendowanych przez *Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU)*.

- S27 **S. ZIELIŃSKI**, P. Brooks, F. Rumsey, *On the Use of Graphic Scales in Modern Listening Tests*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7176, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.

h. Opracowanie systemów eksperckich

W wyniku przeprowadzenia eksperymentów opisanych wyżej w publikacjach S1-S27, zespół badawczy, którego członkiem był autor autoreferatu, wszedł w posiadanie unikatowej bazy składającej się z kilkunastu tysięcy danych pomiarowych. Zrodził się wówczas pomysł wykorzystania tej bazy do opracowania systemów pozwalających na obiektywną ocenę jakości dźwięku dookólnego, co po odpowiednim przetworzeniu bazy danych i wykonaniu dodatkowych badań, zaowocowało powstaniem trzech opisanych niżej systemów eksperckich.

Należy zaznaczyć, że podczas opracowywania niniejszych systemów eksperckich, międzynarodowe standardy obiektywnej oceny jakości dźwięku nie uwzględniały cech dźwięku przestrzennego. Dlatego też przedstawione w autoreferacie prace miały wówczas charakter pionierski.

System Ekspercki 1 – Doradca jakości [Quality Adviser]

Pierwszy system ekspercki opracowany przez autora autoreferatu we współpracy z zespołem badawczym został nazwany terminem „Doradcy jakości” [Quality Adviser]. Był to program komputerowy prognozujący jakość dźwięku dookólnego w oparciu o wybrane parametry sygnałów dźwięku dookólnego. System ten został opracowany jako potencjalne narzędzie wspomagające pracę nadawców oraz projektantów kodeków dźwięku dookólnego. Sposób działania systemu oraz wyniki jego walidacji zostały opisane w publikacji S28.

- S28 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Development and Initial Validation of a Multichannel Audio Quality Expert System*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 53, 1/2, pp. 4-21, January/February 2005.

Jednym z trudniejszych wyzwań napotkanych podczas opracowywania kolejnych dwóch systemów eksperckich była identyfikacja cech fizycznych dźwięku, które pozwoliłyby na obiektywny pomiar jakości dźwięku dookólnego. Prace związane z tym zagadnieniem oraz uzyskane efekty udokumentowano w publikacjach S29 oraz S30.

- S29 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Feature Extraction for the Prediction of Multichannel Spatial Audio Fidelity*. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Vol. 14, No. 6, pp. 1994-2005, November, 2006.

- S30 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Initial developments of an objective method for the prediction of basic audio quality for surround audio recordings*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6686, Paris, France, 20-23.05.2006.

System Ekspercki 2 – Enwelometr

Autor niniejszego autoreferatu jest współautorem tzw. *enwelometru*. Jest to system ekspercki pozwalający na obiektywny pomiar jednego z najważniejszych atrybutów dźwięku dookólnego określanego w języku angielskim słowem *envelopment*. Atrybut ten, używany od wielu lat jako jeden ze wskaźników jakości akustyki sal koncertowych, został zaadaptowany we współprowadzonych przez autora pracach do celów scharakteryzowania stopnia, w jakim słuchacze czują się otoczeni i „zanurzeni” przez dźwięk dookólny odtwarzany przez wielokanałowe systemy głośnikowe.

Cechą odróżniającą *enwelometr* od innych systemów eksperckich jest to, że opracowany system posiada topologię jednostronną (nie intruzywną) oraz wyposażony jest w skalę pomiarową ustandaryzowaną przy pomocy odpowiednio dobranych dźwiękowych bodźców odniesienia (ang. *anchors*). Większość

standardowych systemów eksperckich wykorzystywanych do pomiaru jakości sygnału mowy lub sygnału muzyki posiada topologię dwustronną (intruzywną). Systemy takie prognozują jakość na podstawie sygnałów na wejściu i na wyjściu badanego systemu. *Enwelometr* zaś działa wyłącznie na podstawie sygnałów wyjściowych, dzięki czemu jest łatwy w użyciu. Pomimo tego, że systemy o topologii jednostronnej są trudne w opracowaniu, *enwelometr* działa z zadowalającą precyzją. Zgodnie z wynikami procedury walidacyjnej przeprowadzonej w laboratoriach w Wielkiej Brytanii i w Danii, błąd pomiarowy opracowanego *enwelometru* jest porównywalny z niedokładnością testów subiektywnych z udziałem przeszkolonych jurorów. Sposób opracowania *enwelometru*, jego procedura kalibracyjna oraz uzyskane wyniki walidacji zostały opisane w publikacjach S31, S32 oraz S33.

- S31 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, P. Jackson, R. Conetta, M. Dewhurst, D. Meares, S. Bech. *Development and Validation of an Unintrusive Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 58, 12, pp. 1013-1031, December, 2010.
- S32 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Evaluating the sensation of envelopment arising from 5-channel surround sound recordings*. Presented at Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7382, Amsterdam, The Netherlands, 17-20.05.2008.
- S33 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Conetta, M. Dewhurst, P. Jackson, D. Meares, S. Bech, *An Unintrusive Objective Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7599, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.

Autor autoreferatu był pomysłodawcą *enwelometru*, pomógł ukształtować jego koncepcję i służył pomocą w planowaniu eksperymentów, wykonaniu symulacji komputerowych oraz przeanalizowaniu ich wyników. Większość prac eksperymentalnych związanych z opracowaniem *enwelometru* została wykonana w ramach pracy doktorskiej Sunisha George'a, pierwszego autora wyżej cytowanych prac S29-S33. Autor autoreferatu pełnił funkcję promotora pomocniczego wspomnianej pracy doktorskiej.

System Ekspercki 3 – QESTRAL

Autor autoreferatu jest również współautorem systemu eksperckiego nazwanego akronimem *QESTRAL* (*Quality Evaluation of Spatial Transmission and Reproduction using an Artificial Listener*). System ten pozwala na obiektywny pomiar pogorszenia przestrzennej jakości dźwięku spowodowanej zniekształceniami wprowadzanymi przez systemy transmisji i reprodukcji dźwięku dookólnego. Źródłem wspomnianych zniekształceń mogą być takie czynniki jak niewłaściwe rozmieszczenie głośników, rozkalibrowanie poziomu wzmocnienia poszczególnych kanałów, omyłkowa zamiana kanałów dźwięku, odwrócenie fazy sygnału, efekty kodowania percepcyjnego, algorytmy *down-mixu*, zawężenie pasma poszczególnych kanałów, przesłuch pomiędzy kanałami lub kombinacja wymienionych czynników. System ten został opracowany z myślą o wykorzystaniu w takich zastosowaniach jak wspomaganie projektowania wielokanałowych systemów audio, porównawcza ocena różnych formatów reprodukcji dźwięku dookólnego

oraz automatyczna kalibracja dźwiękowych systemów wielokanałowych w zastosowaniach domowych, kinowych, i samochodowych.

System *QESTRAL* został opisany w serii czterech publikacji zaprezentowanych na Konwencji AES w San Francisco w roku 2008. W pierwszej z nich przedstawiono ogólną koncepcję opracowanego systemu [S34], natomiast w kolejnych trzech publikacjach opisano procedurę cechowania systemu [S35], metodę ekstrakcji cech fizycznych dźwięku [S36], procedurę generacji sygnałów testowych oraz wstępne wyniki symulacji komputerowych [S37]. Zasada działania systemu *QESTRAL* została dodatkowo zaprezentowana na konferencjach akustycznych w Paryżu [S38] oraz w Brighton [S38, S39]. Najważniejsze wyniki uzyskane podczas prac nad systemem *QESTRAL* zostały opisane w dwóch publikacjach w czasopiśmie naukowym [S40, S41].

- S34 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, S. George, S. Bech, D. Meares, *QESTRAL (Part 1): Quality Evaluation of Spatial Transmission and Reproduction using an Artificial Listener*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7595, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- S35 R. Conetta, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, M. Dewhurst, S. Bech, D. Meares, S. George, *QESTRAL (Part 2): Calibrating the QESTRAL model using listening test data*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7596, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- S36 P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, D. Meares, S. Bech, S. George, *QESTRAL (Part 3): System and metrics for spatial quality prediction*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7597, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- S37 M. Dewhurst, R. Conetta, F. Rumsey, P. Jackson, **S. ZIELIŃSKI**, S. George, S. Bech, D. Meares, *QESTRAL (Part 4): Test signals, combining metrics and the prediction of overall spatial quality*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7598, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- S38 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, S. Bech, D. Meares, *Measuring perceived spatial quality changes in surround sound reproduction*. Presented at Acoustics 2008, J. Acoust. Soc. Amer., No. 5, Vol. 123, p. 2980, Paryż, 29.06-4.07.2008. (streszczenie konferencyjne)
- S39 R. Conetta, M. Dewhurst, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, S. Bech, D. Meares, S. George, *Calibration of the QESTRAL Model for the Prediction of Spatial Quality*. Presented at the Reproduced Sound 24 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 30. Pt. 6., pp. 281-290, Brighton, UK, 20-21.11.2008.
- S40 R. Conetta, T. Brookes, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, M. Dewhurst, P. Jackson, S. Bech, D. Meares, S. George, *Spatial Audio Quality Perception (Part 1): Impact of Commonly Encountered Processes*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 62, 12, pp. 831-846, December, 2014.

- S41 R. Conetta, T. Brookes, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, M. Dewhurst, P. Jackson, S. Bech, D. Meares, S. George, *Spatial Audio Quality Perception (Part 2): A Linear Regression Model*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 62, 12, pp. 847-860, December, 2014.

Jednym z praktycznych zastosowań systemu *QESTRAL* jest możliwość wizualizacji jakości dźwięku dookólnego. System pozwala na wykreślanie dwuwymiarowych map reprezentujących rozkład jakości dźwięku w zależności od usytuowania słuchacza względem głośników. Mapy te, będące analogią linii izobarycznych używanych w mapach prognozy pogody, zawierają linie o jednakowej jakości dźwięku dookólnego. Dzięki uzyskanym wykresom możliwe jest dwuwymiarowe prognozowanie jakości dźwięku w zależności od usytuowania słuchacza, pozycji głośników i typu wykorzystanego systemu reprodukcji dźwięku dookólnego. Opracowany system umożliwia wizualne porównanie przestrzennej jakości dźwięku obszarów odsłuchowych takich systemów reprodukcji dźwięku jak na przykład *Ambisonics*, *Wave Field Synthesis* oraz standardowy system 5-kanałowy [S42-S44].

- S42 M. Dewhurst, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, F. Rumsey, *Objective Assessment of Spatial Localisation Attributes of Surround-Sound Reproduction Systems*. Presented at Audio Engineering Society 118th Convention, Paper 6441, Barcelona, Spain, 28-31.05.2005.
- S43 P. Jackson, M. Dewhurst, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Conetta, D. Meares, S. Bech, *Prediction of spatial perceptual attributes of reproduced sound across the listening area*. Presented at Acoustics 2008, J. Acoust. Soc. Amer., No. 5, Vol. 123, p. 2979, Paris, 29.06-4.07.2008. (streszczenie konferencyjne)
- S44 P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, **S. ZIELIŃSKI**, *Estimates of perceived spatial quality across the listening area*. Presented at the Audio Engineering Society 38th International Conference, pp. 233-242, Pitea, Sweden, 13-15.06.2010.

Koncepcja działania systemu *QESTRAL* oraz *enwelometru* została objęta ochroną własności intelektualnej (patent w USA), co opisano w szczegółach w rozdziale opisującym udzielone patenty (rozdział 6.1).

i. Pozostałe prace naukowe w Uniwersytecie Surrey

Pozostałe prace naukowe wykonane przez autora autoreferatu w Uniwersytecie Surrey, głównie w charakterze promotora końcowych projektów technicznych oraz promotora pomocniczego jednej z prac doktorskich, dotyczyły takich zagadnień jak polepszenie zrozumiałości dźwięku dookólnego w telewizji [S45], zbadanie wpływu podziału uwagi słuchacza na tolerancję braku synchronizacji pomiędzy dźwiękiem i obrazem [S46], porównanie nowatorskich metod rejestracji muzyki klasycznej w systemach dźwięku dookólnego [S47] oraz optymalizacja przestrzennej charakterystyki konsumenckich zestawów głośnikowych [S48].

- S45 **S. ZIELIŃSKI**, J. Mayne, F. Rumsey. *Improving Intelligibility of Surround Sound Using Principal Component Decomposition*. Presented at the Reproduced Sound 21 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 27. Pt. 5. Oxford, UK, 4-5.11.2005.

- S46 P. Ward, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Can playing a computer game affect perception of audio-visual synchrony?* Presented at Audio Engineering Society 117th Convention, Paper 6224, San Francisco, CA, USA, 28-31.10.2004.
- S47 K. Beresford, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Listener Opinions of Novel Spatial Audio Scenes*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6687, Paris, France, 20-23.05.2006.
- S48 W. Evans, J. Dyreby, S. Bech, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Effects of loudspeaker directivity on perceived sound quality – a review of existing studies*. Presented at Audio Engineering Society 126th Convention, Paper 7745, Munich, Germany, 7-10.05.2009.

4.3. Prace autora prowadzone w Politechnice Białostockiej (2014-2016)

W ciągu ostatniego dziesięciolecia nastąpiła integracja systemów telefonicznych, dźwiękowych, wizyjnych i komputerowych, czego przykładem mogą być telefony nowej generacji oraz współczesne komputery osobiste. Jednak istniejące metody oceny jakości systemów multimedialnych, zalecane przez międzynarodowe organizacje standaryzacyjne, nie uwzględniają współczesnego trendu konwergencji technologicznej i w efekcie są wciąż nadmiernie podzielone. Dlatego też autor niniejszego autoreferatu, we współpracy z naukowcami z ośrodków zagranicznych, dokonał próby określenia korzyści płynących z unifikacji metod oceny jakości mowy, dźwięku i obrazu oraz dokonał identyfikacji wyzwań związanych ze wspomnianym procesem unifikacyjnym. Wyniki dotychczasowych prac zostały zaprezentowane w artykule konferencyjnym [PB1]^{vi}.

- PB1 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Towards Unification of Methods for Speech, Audio, Picture and Multimedia Quality Assessment*. Presented at Audio Engineering Society 138th Convention, Paper 9308, Warsaw, Poland, 7-10.05.2015.

Bieżące prace autora dotyczą dalszej analizy i diagnostyki błędów pomiarowych w subiektywnych metodach oceny jakości dźwięku. Wnioski płynące z przeglądu literaturowego dotyczącego niniejszego zagadnienia oraz efekty prac empirycznych zostały opisane w dwóch poniższych artykułach [PB2], [PB3].

- PB2 **S. ZIELIŃSKI**, *Is a Multi-Slider Interface Layout Responsible for a Stimulus Spacing Bias in the MUSHRA Test?* Archives of Acoustics. Vol. 40, 4, pp. 585-594, December, 2015.
- PB3 **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests (Part 2): Selected Graphical Examples and Discussion*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 64, 1/2, pp. 55-74, January/February, 2016 (DOI: 10.17743/jaes.2015.0094).

^{vi} Skrót PB oznacza, iż publikacja została opracowana podczas zatrudnienia w Politechnice Białostockiej.

5. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE BĘDĄCE WKŁADEM AUTORA DO ROZWOJU DZIEDZINY

Zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, jako swoje osiągnięcie autor autoreferatu wskazuje **jednotematyczny cykl trzynastu publikacji o następującym tytule:**

SUBIEKTYWNA I OBIEKTYWNA OCENA WPŁYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW TECHNICZNYCH NA JAKOŚĆ DŹWIĘKU WIELOKANAŁOWYCH SYSTEMÓW FONICZNYCH

5.1. Cykl publikacji dotyczących osiągnięcia naukowego

Cykl publikacji składa się z trzynastu niżej wymienionych artykułów, opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora. Są to w większości pozycje wielo-autorskie, w których niniejszy autor jest ich pierwszym lub drugim autorem. Dokładny opis wkładu autora w powstanie niniejszego cyklu publikacji zamieszczono w odrębnym załączniku (Załącznik 5). Dla odróżnienia publikacji „cyklu habilitacyjnego” od pozostałych artykułów autora, zostały one oznaczone symbolami H1-H13.

- H1 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Effects of bandwidth limitation on audio quality in consumer multichannel audio-visual delivery systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 6, pp. 475–501, 2003. ($IF_{2003} = 0,894$)^{vii}
- H2 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Effects of down-mix algorithms on quality of surround sound*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 9, pp. 780-798, 2003. ($IF_{2003} = 0,894$)
- H3 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part I: Psychoacoustically Hierarchical Transform*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 12, pp. 1057-1068, December, 2008. ($IF_{2008} = 0,824$)
- H4 Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part II: Optimisation of Bandwidth Allocation Strategy*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 57, 1/2, pp. 5-15, January/February, 2009. ($IF_{2009} = 0,537$)
- H5 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Comparison of Basic Audio Quality and Timbral and Spatial Fidelity Changes Caused by Limitation of Bandwidth and by Down-mix Algorithms in 5.1 Surround Audio Systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 53, 3, pp. 174-192, March, 2005. ($IF_{2005} = 0,527$)

^{vii} IF – czynnik wpływu czasopisma naukowego (*Impact Factor*)

- H6 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech, *On the relative importance of spatial and timbral fidelities in judgments of degraded multichannel audio quality*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 118, 2, pp. 968–976, August, 2005. (DOI: 10.1121/1.1945368, $IF_{2005} = 1,677$)
- H7 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech, *Relationships between experienced listener ratings of multichannel audio quality and naïve listener preferences*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 117, 6, pp. 3832-3840, June, 2005. (DOI: 10.1121/1.1904305, $IF_{2005} = 1,677$)
- H8 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests – A Review*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 6, pp. 427-451, June, 2008. ($IF_{2008} = 0,824$)
- H9 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Development and Initial Validation of a Multichannel Audio Quality Expert System*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 53, 1/2, pp. 4-21, January/February 2005. ($IF_{2005} = 0,527$)
- H10 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Feature Extraction for the Prediction of Multichannel Spatial Audio Fidelity*. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Vol. 14, No. 6, pp. 1994-2005, November, 2006. (DOI: 10.1109/TASL.2006.883248, $IF_{5-lat @ 2011} = 1,962$)
- H11 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, P. Jackson, R. Conetta, M. Dewhirst, D. Meares, S. Bech, *Development and Validation of an Unintrusive Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 58, 12, pp. 1013-1031, December, 2010. ($IF_{2010} = 0,483$)
- H12 **S. ZIELIŃSKI**, *Is a Multi-Slider Interface Layout Responsible for a Stimulus Spacing Bias in the MUSHRA Test?* Archives of Acoustics. Vol. 40, 4, pp. 585-594, December, 2015. (DOI: 10.1515/aoa-2015-0058, $IF_{2014} = 0,565$)
- H13 **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests (Part 2): Selected Graphical Examples and Discussion*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 64, 1/2, pp. 55-74, January/February, 2016. (DOI: 10.17743/jaes.2015.0094, $IF_{2014} = 1,123$)

5.2. Geneza osiągnięcia naukowego

a. Cel badań

Celem badań prowadzących do powstania cyklu publikacji była ocena wpływu wybranych parametrów technicznych wielokanałowych (dookólnych) systemów fonicznych na uzyskiwaną jakość dźwięku.

b. Kontekst badań

Jak wspomniano wcześniej w rozdziale 4.2 autoreferatu, na początku bieżącego stulecia w technice audio wyłaniały się dwa trendy. Pierwszy z nich polegał na dalszym udoskonalaniu jakości dostarczanego do konsumentów dźwięku w porównaniu ze standardem płyt *CD Audio*, natomiast drugi dotyczył kontrolowanego obniżenia jakości dostarczanego dźwięku w celu uzyskania ekonomicznych korzyści podczas transmisji lub archiwizacji dźwięku oraz w celu uzyskania oszczędności płynących z uproszczonego wytwarzania wielokanałowych systemów dźwiękowych (np. poprzez zmniejszenie gabarytów zestawów głośnikowych). Badania prowadzące do niniejszego osiągnięcia naukowego osadzone były w kontekście drugiego trendu, czyli kontrolowanego obniżenia jakości dźwięku przestrzennego. Biorąc pod uwagę wspomniany kontekst, ważną kwestią badawczą stanowiło osiągnięcie odpowiedniego kompromisu pomiędzy ograniczeniami technicznymi dookólnych systemów fonicznych a uzyskiwaną jakością dźwięku przestrzennego. Więcej informacji dotyczących kontekstu przeprowadzonych badań znajduje się w pierwszych trzech publikacjach cyklu [H1-H3].

c. Główne założenia i ograniczenia przeprowadzonych badań

Głównym obiektem badawczym osiągnięcia naukowego był 5-kanałowy system dźwięku dookólnego zgodny ze standardem ITU-R BS.775 *Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (International Telecommunication Union – ITU)*^{viii}. Ze względu na to, że jednym z celów badawczych było zbadanie wpływu przekazu wizyjnego na ocenę jakości dźwięku dookólnego, wspomniany system dźwiękowy był dodatkowo wyposażony w telewizyjny monitor wideo. Szkic przedstawiający rozmieszczenie głośników i monitora wideo zamieszczono w pierwszych dwóch publikacjach cyklu [H1, H2].

W badaniach wykorzystano próbki dźwiękowe zawierające 5-kanałowe szerokopasmowe (20Hz – 20kHz) sygnały akustyczne reprezentujące typowe nagrania nadawane w programach telewizyjnych oraz komercyjne produkcje rejestrowane na płytach *DVD*. Wyjątek stanowi publikacja H12, dotycząca metodologii oceny jakości dźwięku, w której wykorzystano 2-kanałowe stereofoniczne próbki dźwiękowe. Oprócz wyboru próbek według gatunku nagrań, ważnym kryterium selekcji próbek badawczych była również ich charakterystyka przestrzenna. Dokładny opis selekcji badawczego materiału dźwiękowego opisano w pierwszych czterech publikacjach cyklu [H1-H4].

Tytuł wskazanego osiągnięcia naukowego nawiązuje do „wybranych parametrów technicznych” wielokanałowych systemów fonicznych. W większości artykułów cyklu wspomniane parametry dotyczą ograniczenia pasma częstotliwościowego dźwięku przestrzennego oraz ograniczenia liczby kanałów dźwięku dookólnego (tzw. algorytmów *down-mixu*). Wyjątek stanowi publikacja H10, gdzie oprócz ograniczenia pasma oraz ograniczenia liczby kanałów próbki dźwiękowe dodatkowo poddano kodowaniu percepcyjnemu.

^{viii} ITU-R Rec. BS.775, “Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (1992–2012).

d. Metodyka badań

Punktem startowym w doborze metod badawczych były ówczesne wersje standardów zalecanych przez ITU oraz Europejską Unię Nadawców (*European Broadcasting Union*). Jako przykład posłużyć tu mogą wczesne wersje metody MUSHRA^{ix} (lata 2000-2003). Z racji tego, że zagadnienie oceny jakości dźwięku dookólnego było wówczas czymś nowym, standardowe metody oceny jakości dźwięku zostały dopasowane do potrzeb poszczególnych eksperymentów lub też zostały poszerzone o dodatkowy protokół eksperymentalny, czego przykładem jest publikacja H5.

Badania opisane w cyklu publikacji zostały przeprowadzone w laboratoriach w Wielkiej Brytanii (*Uniwersytet Surrey*), w Danii (zaplecze badawcze firmy *Bang & Olufsen*) oraz w Polsce (*Politechnika Białostocka*). Warunki akustyczne przeprowadzonych eksperymentów spełniały całkowicie lub prawie całkowicie wymagania najbardziej rygorystycznej normy ITU dotyczącej warunków akustycznych laboratoriów do przeprowadzania subiektywnej oceny jakości dźwięku ITU-R BS. 1116^x. Wyjątkiem jest eksperyment opublikowany w publikacji H12, gdzie subiektywne testy odsłuchowe wykonano w typowych laboratoriach komputerowych. W publikacji tej pokazano jednak, że wspomniana modyfikacja warunków akustycznych nie wpłynęła pogarszająco na wyniki eksperymentów.

Metody badawcze stanowiące podłoże prac dołączonych do niniejszego cyklu publikacji ograniczone były do pasywnego udziału słuchaczy w testach odsłuchowych, z pominięciem ich interakcji, podziału uwagi lub też czynników socjoekonomicznych. Wyniki pilotażowych eksperymentów uwzględniających interakcję i podział uwagi słuchaczy zostały opublikowane przez autora w pracach poza cyklem publikacji „habilitacyjnych”, co zostało szczegółowo opisane powyżej w rozdziale 4.2.c autoreferatu. Dlatego też metodologia wykorzystana do uzyskania niniejszego osiągnięcia naukowego może być zakwalifikowana do klasycznego nurtu oceny jakości dźwięku, pomijającego „poza-dźwiękowe” aspekty oceny jakości. Wyjątkiem są prace H1 i H2, gdzie w procedurach badawczych uwzględniono wpływ obecności przekazu wideo na ocenę jakości dźwięku, oraz praca H7, w której między innymi zbadano wpływ braku doświadczenia słuchaczy w krytycznym ocenianiu jakości dźwięku na wyniki ocen jakości dźwięku przestrzennego.

W ciągu ubiegłego dziesięciolecia obserwuje się odejście zainteresowań niektórych badaczy od tradycyjnego nurtu oceny jakości dźwięku do nowego nurtu ukierunkowanego na ocenę jakości postrzeganej przez użytkownika końcowego *QoE* (*Quality of Experience*)^{xi}. Według zwolenników tego nowego nurtu, metody typu *QoE* pozwalają badaczom na uzyskanie większej ekologicznej wiarygodności oceny jakości w porównaniu z metodami klasycznymi^{xii}. Biorąc jednak pod uwagę, że większość prac empirycznych prowadzących do niniejszego osiągnięcia naukowego została wykonana w latach 2000-2009 – to jest w okresie, gdzie eksperymenty obejmujące ocenę jakości dźwięku przestrzennego należały do prac pionierskich, natomiast metody typu *QoE* nie były jeszcze rozpowszechnione – zastosowana przez autora metodologia wydaje się być usprawiedliwiona.

^{ix} MUSHRA EBU Draft Rec. B/AIM 022, “Method for Subjective Listening Tests of Intermediate Audio Quality,” Rev. 8/BMS 607 rev., European Broadcasting Union, Geneva, Switzerland (2000). ITU-R Rec. BS.1534, “Method for the Subjective Assessment of Intermediate Quality Level of Coding Systems,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (2001-2015).

^x ITU-R Rec. BS.1116, “Methods for Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichannel Sound Systems,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (1994-2015).

^{xi} F. Kuipers, R. Kooij, D. De Vleeschauwer, and K. Brunström, “Techniques for Measuring Quality of Experience,” *Wired/Wireless Internet Communications, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6074, pp. 216–227 (2010).

^{xii} S. Möller and A. Raake (Eds.), *Quality of Experience*, Springer, Switzerland (2014).

5.3. Przegląd cyklu publikacji dotyczących osiągnięcia naukowego

Motywnym przewodnim cyklu publikacji jest **ocena wpływu wybranych parametrów technicznych wielokanałowych systemów fonicznych na uzyskiwaną jakość dźwięku**. Pierwszych siedem prac poświęconych jest **subiektywnej ocenie** wspomnianego wpływu [H1-H7], natomiast prace oznaczone symbolami H9-H11 poświęcone są jego **obiektywnej ocenie**. Celem pracy opisanej w publikacji H8 oraz w dwóch najnowszych publikacjach cyklu [H12, H13] jest udoskonalenie metodologii subiektywnej oceny jakości dźwięku i uniknięcie propagacji błędów oceny przy opracowywaniu metod oceny obiektywnej.

Należy podkreślić, że w czasie rozpoczynania przez autora autoreferatu prac nad wspomnianym cyklem publikacji w literaturze istniało niewiele doniesień dotyczących subiektywnej oceny jakości dźwięku wielokanałowego, natomiast istniejące wówczas metody obiektywnej oceny jakości dźwięku, takie jak na przykład metoda *PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality)*^{xiii}, nie uwzględniały przestrzennych cech ocenianego dźwięku.

Wszystkie publikacje cyklu zostały opublikowane przez autora autoreferatu po uzyskaniu stopnia doktora. Zostały one opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym znajdujących się w bazie *JCR (Journal Citation Reports)*. Niniejszy cykl publikacji został krótko podsumowany poniżej, ze szczególnym uwzględnieniem nowatorskiego wkładu do rozwoju dziedziny.

- H1 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Effects of bandwidth limitation on audio quality in consumer multichannel audio-visual delivery systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 6, pp. 475–501, 2003. ($IF_{2003} = 0,894$)

Nowatorski wkład

Dokonano subiektywnej oceny wpływu zawężenia pasma akustycznego wybranych kanałów systemów dźwięku dookólnego na uzyskiwaną jakość dźwięku. Określono wielkość efektu oddziaływania przekazu wizyjnego na subiektywną ocenę jakości dźwięku dookólnego. Sformułowano rekomendację dotyczącą zarządzania pasmem częstotliwościowym w konsumenckich systemach dźwięku dookólnego.

Podsumowanie

Celem badań było znalezienie odpowiedzi na następujące pytania dotyczące ówczesnych konsumenckich systemów audio-wizualnych z 5-kanałowym dźwiękiem dookólnym:

- Jaki jest ilościowy związek pomiędzy zawężeniem pasma a jakością dźwięku?

^{xiii} ITU-R Rec. BS.1387, "Method for objective measurements of perceived audio quality," International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (1998-2001).

- W jaki sposób wielokanałowy materiał dźwiękowy może być ograniczony w paśmie z jak najmniejszym pogorszeniem jakości dźwięku? Które kanały głośnikowe są najbardziej „wrażliwe”, a które najbardziej „odporne” na zawężenie pasma pod względem uzyskiwanej jakości dźwięku?
- Czy obecność przekazu wizyjnego ma wpływ na ocenę jakości dźwięku?

Tło badań oraz metoda badawcza zostały już wcześniej opisane w rozdziale 4.2.a (Badanie efektu ograniczenia pasma w konsumenckich systemach dźwięku dookólnego). Uzyskane wyniki pozwoliły ustalić ilościowy związek pomiędzy pasmem częstotliwościowym a jakością dźwięku. Zaobserwowano, że jednoczesne i równomierne zawężenie górnej części pasma wszystkich kanałów głośnikowych dźwięku dookólnego skutkuje dużą utratą uzyskiwanej jakości dźwięku. Podobny efekt zaobserwowano w przypadku zawężenia górnej części pasma w przednim lewym i w przednim prawym kanale systemu dookólnego. Jednak zawężenie pasma w przednim centralnym kanale lub w kanałach dookólnych (lewym i prawym) powoduje na ogół małe straty jakości. Podobne wyniki uzyskano w eksperymentach, w których zawężano dolną część pasma częstotliwościowego. Uzyskane wyniki pokazały również, że obecność przekazu wizyjnego towarzyszącego przekazowi audio ma pomijalnie mały wpływ na ocenę jakości dźwięku dookólnego.

Uogólniając uzyskane wyniki oraz pomijając wyjątki szczegółowo opisane w publikacji, kanał przedni centralny oraz kanały dookólne mogą być uznane za kanały „odporne” na zawężenie pasma, podczas gdy przedni kanał lewy i przedni kanał prawy są kanałami „wrażliwymi” na ograniczenie pasma częstotliwościowego. Dlatego też, jeżeli ograniczenie całkowitego pasma dźwięku dookólnego jest nieodzowne, na przykład ze względów technicznych lub ekonomicznych, w pierwszej kolejności powinno się zawęzić pasmo kanału głośnika centralnego lub pasmo kanałów dookólnych, gdyż równomierne ograniczenie pasma wszystkich kanałów lub ograniczenie pasma kanału przedniego lewego i przedniego prawego może prowadzić do dużej utraty jakości dźwięku.

- H2 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Effects of down-mix algorithms on quality of surround sound*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 9, pp. 780-798, 2003. ($IF_{2003} = 0,894$)

Nowatorski wkład

Dokonano subiektywnej oceny wpływu ośmiu algorytmów ograniczających liczbę kanałów dźwięku dookólnego (tzw. algorytmów *down-mixu*) na uzyskiwaną jakość dźwięku dla dwóch miejsc odsłuchowych: optymalnego oraz suboptymalnego. Oszacowano wielkość efektu, w jakim odtwarzany materiał wizyjny wpływa na subiektywną ocenę jakości dźwięku dookólnego. Sformułowano rekomendację dotyczącą wyboru najlepszych algorytmów ograniczających liczbę kanałów systemów dźwięku dookólnego.

Podsumowanie

W publikacji przedstawiono wyniki oceny wpływu ośmiu algorytmów ograniczających liczbę kanałów dźwięku dookólnego na uzyskiwaną jakość dźwięku. Siedem z przebadanych algorytmów, posiadających symbole 1/0, 2/0, 3/0, 2/1, 1/2, 3/1 oraz 2/2, zaadaptowano z rekomendacji ITU-R BS. 775 *Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego*. Ósmy algorytm, o symbolu *LR-mono*, był algorytmem oryginalnym. Eksperymenty wykonano w dwóch miejscach odsłuchowych, używając do tego celu 5-kanałowego zestawu dźwiękowego kina domowego spełniającego wymagania techniczne wspomnianej rekomendacji.

Wyniki badań pozwoliły ustalić ilościowy wpływ poszczególnych algorytmów *down-mixu* na uzyskiwaną jakość dźwięku w dwóch miejscach odsłuchowych. Uogólniając uzyskane wyniki, najlepszym algorytmem redukującym liczbę kanałów z 5 do 4 okazał się algorytm 3/1, natomiast w przypadku redukcji liczby kanałów z 5 do 3 najlepsze rezultaty uzyskano z użyciem algorytmu 3/0.

O ile w poprzedniej publikacji oszacowany wpływ przekazu wizyjnego na ocenę jakości dźwięku sygnałów ograniczonych w paśmie częstotliwościowym był pomijalnie mały, w przypadku eksperymentu opisanego w niniejszej publikacji wpływ obecności przekazu wideo okazał się stosunkowo duży. Dla algorytmów wykorzystujących wirtualny głośnik centralny (2/0, 2/2, 2/1) efekt ten wynosił około +10% dla optymalnego miejsca odsłuchowego oraz około -10% dla suboptymalnego miejsca odsłuchowego. Przyczyną powodującą ten efekt był brak koherencji przestrzennej pomiędzy dźwiękiem i obrazem. Obserwacja ta stanowi jeden z argumentów przemawiających za ważnością używania fizycznego głośnika centralnego w audio-wizualnych systemach kina domowego.

- H3 Y. Jiao, S. ZIELIŃSKI, F. Rumsey, *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part I: Psychoacoustically Hierarchical Transform*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 12, pp. 1057-1068, December, 2008. ($IF_{2008} = 0,824$)

Nowatorski wkład

Opracowano nową metodę ograniczenia całkowitego pasma częstotliwościowego wielokanałowego dźwięku dookólnego, wykorzystującą transformację Karhunen-Loèvego (*KLT*). Dokonano subiektywnej oceny wpływu ograniczenia pasma przy użyciu nowo opracowanej metody na uzyskiwaną jakość dźwięku.

Podsumowanie

W poprzednich dwóch publikacjach cyklu [H1, H2] ukazano ilościowy wpływ zawężenia pasma częstotliwościowego lub zmniejszenia liczby kanałów na jakość dźwięku dookólnego. Niniejsza publikacja również demonstruje wpływ zawężenia pasma częstotliwościowego na jakość dźwięku, jednak przy użyciu oryginalnego algorytmu, wykorzystującego hierarchiczną metodę ograniczenia pasma. W pracy wykazano, iż nowa metoda ograniczenia pasma daje lepsze wyniki pod względem

uzyskiwanej jakości dźwięku, niż metoda tradycyjna, zaprezentowana w publikacji H1. Cechą odróżniającą nowo opracowaną metodę od metody tradycyjnej jest to, że pasmo częstotliwościowe sygnału jest zawężane w hierarchicznie przetransformowanej przestrzeni sygnałowej, a nie, jak to miało miejsce dotąd, bezpośrednio w dziedzinie sygnałów głośnikowych.

Do celów hierarchicznego przetransformowania sygnałów głośnikowych użyto i przetestowano dwie metody: *MSBTF*^{xiv} oraz *KLT*^{xv}. Zaletą metody *KLT* w porównaniu z metodą *MSBTF* było to, że w wyniku zastosowanej transformacji uzyskano sygnały matematycznie ortogonalne. Jest to korzystne z punktu widzenia efektywności wykorzystania dostępnej pojemności kanału podczas transmisji skorelowanych sygnałów, co zostało udowodnione już w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia w telekomunikacyjnych eksperymentach przeprowadzonych w *Bell Telephone Laboratories*^{xvi}. Zgodnie z oczekiwaniem wyniki pokazały, że w przypadku hierarchicznego ograniczenia pasma dźwięku wielokanałowego transformacja *KLT* daje lepsze rezultaty niż transformacja *MSBTF*. Geneza zaprezentowanych w niniejszej publikacji badań została już wcześniej opisana w rozdziale 4.2.b.

- H4 Y. Jiao, S. ZIELIŃSKI, F. Rumsey, *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part II: Optimisation of Bandwidth Allocation Strategy*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 57, 1/2, pp. 5-15, January/February, 2009. ($IF_{2009} = 0,537$)

Nowatorski wkład

Dokonano optymalizacji nowo opracowanej metody ograniczenia pasma dźwięku dookólnego wykorzystującej transformację Karhunen-Loèvego (*KLT*). Dokonano subiektywnej oceny wpływu ograniczenia pasma przy użyciu zoptymalizowanej metody na uzyskiwaną jakość dźwięku. Zgodnie z otrzymanymi wynikami nowo opracowana metoda okazała się lepsza od innych przebadanych metod pod względem subiektywnie ocenianej jakości dźwięku. Sformułowano zalecenie dla nadawców oraz projektantów kodeków dźwięku wielokanałowego.

Podsumowanie

Niniejsza praca jest kontynuacją i poszerzeniem badań opisanych w publikacji poprzedniej [H3]. Nowo opracowaną metodę hierarchicznego ograniczenia pasma poddano dalszemu udoskonaleniu poprzez jej formalną optymalizację. Wykonano badania porównawcze wpływu ograniczenia pasma na subiektywnie ocenianą jakość dźwięku dookólnego dla czterech następujących algorytmów: metody tradycyjnej (*Base*), metody zarządzania pasmem opartej na systemie eksperckim „Doradca jakości” (*QA*), metody hierarchicznej wykorzystującej transformację *MSBTF* oraz zoptymalizowanej metody hierarchicznej opartej na transformacji *KLT*. Spośród przebadanych czterech algorytmów, zoptymalizowana metoda hierarchiczna oparta na

^{xiv} M. A. Gerzon, "Hierarchical System of Surround Sound Transmission for HDTV," presented at the 92nd Convention of the Audio Engineering Society, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), vol. 40, p. 445, Preprint 3339 (1992).

^{xv} Y. Hua, W. Liu, "Generalized Karhunen-Loeve Transform," IEEE Signal Processing Letters. Vol. 5, No. 6, pp. 141-142 (1998).

^{xvi} H.P. Kramer, M.V. Mathews, "A linear coding for transmitting a set of correlated signals," IRE Transactions on Information Theory, Vol. 23, pp. 41-46 (1956).

transformacji *KLT* dała najlepsze rezultaty pod względem subiektywnie ocenianej jakości dźwięku. Wynika stąd zalecenie, że w przypadku konieczności ograniczenia całkowitego pasma częstotliwościowego sygnałów dźwięku dookólnego, proces filtracji pasma powinien być dokonany nie bezpośrednio z użyciem sygnałów głośnikowych, lecz pośrednio w dziedzinie przetransformowanych sygnałów z wykorzystaniem transformacji *KLT*.

- H5 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Comparison of Basic Audio Quality and Timbral and Spatial Fidelity Changes Caused by Limitation of Bandwidth and by Down-mix Algorithms in 5.1 Surround Audio Systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 53, 3, pp. 174-192, March, 2005. ($IF_{2005} = 0,527$)

Nowatorski wkład

Dokonano porównania zmian ogólnej jakości dźwięku (*Basic Audio Quality*), wierności brzmieniowej oraz wierności przestrzennej dźwięku dookólnego spowodowanych ograniczeniem pasma i ograniczeniem liczby kanałów. Zademonstrowano przykład wykorzystania trzech nowo opracowanych skal pomiarowych do oceny wierności dźwięku dookólnego.

Podsumowanie

W poprzednio omówionych pracach z prezentowanego cyklu [H1-H4] przedstawiono wyniki subiektywnej oceny wpływu ograniczenia pasma lub ograniczenia liczby kanałów na uzyskiwaną jakość dźwięku dookólnego. Jednak wyniki te uzyskano wyłącznie przy użyciu pojedynczej skali pomiarowej przeznaczonej jedynie do oceny ogólnej jakości dźwięku. W niniejszej pracy dokonano poszerzenia protokołu eksperymentalnego o trzy dodatkowe skale zaprojektowane do oceny wierności brzmieniowej, frontowej wierności przestrzennej oraz dookólnej wierności przestrzennej dźwięku dookólnego. Podejście to pozwoliło na uzyskanie większej ilości informacji na temat badanych efektów w porównaniu z metodami użytymi w poprzednio opisanych pracach. Ponadto podejście to pozwoliło zidentyfikować główne czynniki wpływające na ocenę ogólnej jakości dźwięku dookólnego. Wyniki ukazały znaczącą korelację pomiędzy ogólną jakością dźwięku a wiernością brzmieniową dźwięku dookólnego.

Cechą wyróżniającą niniejszą publikację spośród wyżej opisanych prac [H1-H4] jest zaprezentowanie dwudziestu wykresów pokazujących ilościowy wpływ ograniczenia pasma lub ograniczenia liczby kanałów na ogólną jakość dźwięku, wierność brzmieniową, frontową wierność przestrzenną oraz na dookólną wierność przestrzenną dźwięku (rysunki 4, 5, 6, 7 oraz 13 w omawianej publikacji). Według niniejszego autora, wykresy te stanowią unikalny w literaturze naukowej zbiór charakterystyk, które mogą być wykorzystane przez projektantów kodeków dźwięku dookólnego lub przez inżynierów projektujących systemy dźwięku wielokanałowego.

- H6 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech, *On the relative importance of spatial and timbral fidelities in judgments of degraded multichannel audio quality*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 118, 2, pp. 968–976, August, 2005. (DOI: 10.1121/1.1945368, $IF_{2005} = 1,677$)

Nowatorski wkład

W pracy oszacowano wpływ wierności brzmieniowej oraz wierności przestrzennej na ogólną jakość dźwięku dookólnego. Sformułowano rekomendacje dla osób opracowujących percepcyjne modele oceny jakości dźwięku oraz dla projektantów systemów dźwięku wielokanałowego.

Podsumowanie

Niniejsza publikacja jest kontynuacją publikacji poprzedniej [H5]. Eksperymentalne dane pomiarowe zaprezentowane w poprzedniej publikacji poddano dalszej analizie danych z wykorzystaniem regresji metodą cząstkowych najmniejszych kwadratów. Uzyskanie wyniku pozwoliły ustalić jeden z mechanizmów rządzących oceną jakości dźwięku dookólnego, mianowicie to, że dominujący wpływ na ocenę jakości dźwięku dookólnego ma wierność brzmieniowa systemu odtwarzającego dźwięk. Przestrzenna wierność reprodukcji dźwięku z przodu i wokół słuchacza, choć mniej istotna niż wierność brzmieniowa, nie może być zignorowana, gdyż wpływa w około 30% na ogólną ocenę jakości dźwięku. Wynikają stąd dwie rekomendacje dla projektantów systemów dźwięku dookólnego oraz dla osób opracowujących percepcyjne modele oceny jakości dźwięku. Po pierwsze, chcąc zoptymalizować system dźwięku dookólnego pod względem uzyskiwanej ogólnej jakości dźwięku, wierność brzmieniowa powinna mieć większy priorytet niż wierność przestrzenna optymalizowanego systemu. Po drugie, cechy dźwięku przestrzennego powinny być uwzględnione w kolejnych wersjach percepcyjnych modeli oceny dźwięku, gdyż stanowią one istotny element wpływający na ocenę ogólnej jakości dźwięku. Należy zaznaczyć, że w czasie prac nad niniejszą publikacją istniejące wówczas modele obiektywnej oceny jakości dźwięku nie uwzględniały cech przestrzennych dźwięku.

- H7 F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech, *Relationships between experienced listener ratings of multichannel audio quality and naïve listener preferences*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 117, 6, pp. 3832-3840, June, 2005. (DOI: 10.1121/1.1904305, $IF_{2005} = 1,677$)

Nowatorski wkład

Dokonano porównania ocen jakości dźwięku wielokanałowego pozyskanych od ekspertów z ocenami pochodzącymi od „przeciętnych” słuchaczy. Dokonano identyfikacji dominujących czynników wpływających na preferencje „przeciętnych” słuchaczy.

Podsumowanie

Celem niniejszej pracy była weryfikacja wniosków płynących z publikacji poprzedniej [H6]. W poprzedniej pracy zaobserwowano, że dominujący wpływ na ocenę ogólnej jakości dźwięku wywierała wierność brzmieniowa, natomiast wierność przestrzenna wpływała w mniejszym stopniu na ocenę jakości dźwięku dookólnego. Dane pomiarowe stanowiące podstawę poprzednio przeprowadzonych analiz uzyskano z pomocą przeszkolonej grupy słuchaczy-ekspertów. Istniało zatem przypuszczenie, że wyciągnięte wnioski mogłyby być odmienne, gdyby w eksperymentach wykorzystano „przeciętnych” słuchaczy, lepiej reprezentujących populację konsumentów systemów dźwięku dookólnego. Dlatego też badania opisane w poprzedniej publikacji powtórzono z udziałem grupy „przeciętnych” słuchaczy, wykorzystując w tym celu uproszczoną i dopasowaną do tej grupy metodę eksperymentalną. „Przeciętni” słuchacze byli poproszeni o wyrażenie ich preferencji dotyczących jakości dźwięku dookólnego przy użyciu prostej metody porównania dwóch bodźców dźwiękowych. Uzyskane wyniki okazały się mało wiarygodne, co przypisano efektowi ubocznemu (błędowi pomiarowemu) związanemu ze zbyt uproszczoną metodą badawczą. Chcąc wyeliminować zaistniały efekt, eksperyment powtórzono z zastosowaniem metody wielo-bodźcowej, bardziej przypominającej metodę wykorzystaną w pracy opisanej w publikacji poprzedniej [H6]. Uzyskane wyniki były pozbawione niepożądanego efektu wspomnianego powyżej i pozwoliły badaczom na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Istnieje duże podobieństwo pomiędzy wynikami ocen jakości dźwięku pochodzącymi od ekspertów oraz preferencjami „przeciętnych” słuchaczy. Korelacja ta jest na tyle duża, iż możliwe jest przewidywanie preferencji „przeciętnych” słuchaczy na podstawie ocen jakości dźwięku dokonanych przez ekspertów.
- Podobnie do pierwszego wniosku wyciągniętego w poprzedniej publikacji [H6], preferencje „przeciętnych” słuchaczy są zdominowane przez wierność brzmieniową dźwięku dookólnego. Wierność przestrzenna jest w tym względzie drugorzędna.
- W odróżnieniu od obserwacji opisanych w publikacji poprzedniej, „przeciętni” słuchacze w swoich ocenach nie biorą pod uwagę przestrzennej wierności frontowej, a jedynie dookólną wierność przestrzenną dźwięku. Jest to cecha odróżniająca „przeciętnych” słuchaczy od ekspertów, dla których przestrzenna wierność frontowa jest ważniejsza od dookólnej wierności przestrzennej.

Jednym z zaskakujących wyników niniejszej pracy była obserwacja, że sama metoda pomiarowa wykorzystana do subiektywnej oceny jakości dźwięku może mieć bardzo duży wpływ na pozyskane dane eksperymentalne, potencjalnie maskując badany efekt eksperymentalny. Chcąc zatem wyeliminować efekty uboczne i ewentualne błędy pomiarowe w kolejnych eksperymentach, autor autoreferatu zdecydował się na wykonanie dogłębnego studium literaturowe poświęconego metodologii testów subiektywnych, czego rezultaty zostały opisane w kolejnej publikacji niniejszego cyklu.

- H8 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests – A Review*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 6, pp. 427-451, June, 2008. ($IF_{2008} = 0,824$)

Nowatorski wkład

Dokonano przeglądu błędów pomiarowych występujących we współczesnych metodach subiektywnej oceny jakości dźwięku. Sformułowano zbiór rekomendacji pozwalających na uniknięcie lub zredukowanie wspomnianych błędów pomiarowych.

Podsumowanie

Celem pracy było dokonanie przeglądu błędów pomiarowych towarzyszących współczesnym metodom subiektywnej oceny jakości dźwięku. Zakres pracy nie ograniczał się do metod oceny jakości dźwięku nadawanego w telewizji lub radio, ale obejmował również jedną z powszechnie stosowanych w telekomunikacji metod do oceny jakości transmitowanej mowy^{xvii}. Niniejsza publikacja jest wynikiem interdyscyplinarnego studium literaturowego, w którym zebrano i usystematyzowano informacje dotyczące odsłuchowych testów subiektywnych z takich dyscyplin jak psychoakustyka, techniki nadawcze, telekomunikacja, percepcja, psychologia, psychometria, techniki multimedialne, sensoryczna ocena żywności, statystyka i analiza danych.

O ile błędy przypadkowe w testach subiektywnych są łatwe do zidentyfikowania oraz łatwe do zredukowania poprzez zastosowanie odpowiednich metod statystycznych, to błędy systematyczne są trudne do wykrycia i dlatego też mogą pozostać niezauważone przez badaczy. Co gorsze, błędy te mogą pozostać utrwalone w bazach danych lub też mogą propagować się dalej, jeżeli takie bazy danych zostaną na przykład użyte do kalibracji obiektywnych metod oceny jakości dźwięku, wprowadzając w ten sposób ukryty błąd pomiarowy do metod obiektywnych. Dlatego też w publikacji tej skupiono się prawie wyłącznie na analizie błędów systematycznych towarzyszących subiektywnej ocenie jakości dźwięku lub mowy.

W pierwszej dwóch częściach publikacji dokonano przeglądu najpopularniejszych metod stosowanych do subiektywnej oceny jakości dźwięku lub mowy oraz przeanalizowano typowe procesy zachodzące podczas subiektywnej oceny jakości dźwięku. W trzeciej części opisano przykłady błędów pomiarowych będących wynikiem ocen hedonicznych. Omówiono przypadki ilustrujące wpływ takich czynników na błąd pomiarowy jak wygląd sprzętu, widok etykiet na sprzęcie, kontekst sytuacyjny, osobiste preferencje słuchaczy, a nawet emocje i nastroje słuchaczy oceniających jakość dźwięku. Czwarty rozdział publikacji poświęcony jest systematycznym błędom pomiarowym występującym w procesie przyporządkowywania ocen liczbowych (*response mapping bias*). W szczególności w rozdziale tym omówiono takie błędy pomiarowe jak błąd rozmieszczenia bodźca (*stimulus spacing bias*), błąd częstości występowania bodźca (*stimulus frequency bias*), błąd skurczenia skali (*contraction bias*), efekt kontrastu (*centering bias*) oraz błąd niwelacji zakresu (*range equalising bias*). Dodatkowo opisano

^{xvii} ITU-T P.800, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (1996)

potencjalny błąd wynikający z nieliniowości zastosowanych skal pomiarowych^{xviii}. W piątym rozdziale publikacji opisano potencjalne błędy pomiarowe wynikające z wyglądu interfejsu użytkownika wykorzystywanego podczas testów subiektywnych.

Ostatnia część publikacji poświęcona jest metodom zapobiegania i redukowania opisanych w artykule błędów pomiarowych. Dużo uwagi poświęcono zagadnieniu standaryzacji skal pomiarowych przy użyciu bodźców odniesienia (*anchors*). Na podstawie uzyskanych wniosków sformułowano zbiór rekomendacji pozwalających na zmniejszenie wpływu opisanych błędów. W pracy zakwestionowano zasadność niektórych procedur stosowanych w standardowych metodach subiektywnej oceny jakości dźwięku.

Niektóre wnioski płynące z niniejszej pracy pomogły w opracowaniu i kalibracji obiektywnych metod oceny jakości dźwięku opisanych poniżej w kolejnych trzech publikacjach cyklu [H9-H11]. Na przykład, rekomendowana w niniejszej publikacji metoda standaryzacji skal pomiarowych przy pomocy dźwiękowych bodźców odniesienia została wykorzystana podczas opracowania algorytmu obiektywnej oceny dźwięku o topologii jednostronnej [H11].

- H9 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Development and Initial Validation of a Multichannel Audio Quality Expert System*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 53, 1/2, pp. 4-21, January/February 2005. ($IF_{2005} = 0,527$)

Nowatorski wkład

Opracowano oraz przetestowano parametryczny system ekspercki pozwalający na obiektywną ocenę jakości dźwięku wielokanałowego. Przeznaczeniem opracowanego systemu jest wspomaganie pracy nadawców, projektantów kodeków percepcyjnych oraz projektantów systemów dźwięku dookólnego.

Podsumowanie

Celem pracy było stworzenie systemu pozwalającego na prognozowanie jakości dźwięku w oparciu o wybrane parametry techniczne pięciokanałowego systemu dźwięku dookólnego. Geneza niniejszej oraz pozostałych dwóch publikacji cyklu została już wcześniej opisana w rozdziale 4.2.h. (Opracowanie systemów eksperckich). Pierwsza część publikacji szczegółowo przedstawia dostępne funkcje opracowanego systemu eksperckiego. W drugiej części artykułu opisano szczegóły związane z opracowaniem systemu oraz przedstawiono wyniki walidacji opracowanego systemu eksperckiego.

Opracowany system ekspercki składa się z trzech programów komputerowych. Pierwszy z nich pozwala na prognozowanie jakości dźwięku na podstawie pasma dźwiękowych nagrań wielokanałowych, charakterystyki przestrzennej materiału dźwiękowego oraz typu sygnału odtwarzanego przez głośnik centralny. Celem drugiego programu jest przewidywanie jakości

^{xviii} M. T. Virtanen, N. Gleiss, and M. Goldstein, "On the Use of Evaluative Category Scales in Telecommunications," in Proc. of Human Factors in Telecommunications (Melbourne, Australia, 1995)

dźwięku w oparciu o zastosowany algorytm redukcji liczby kanałów (tzw. algorytm *down-mixu*), charakterystykę przestrzenną materiału dźwiękowego oraz w oparciu o to, czy odtwarzanemu dźwiękowi towarzyszy przekaz wizyjny. Program ten pozwala na prognozowanie jakości dźwięku w dwóch miejscach odsłuchowych: optymalnym oraz suboptymalnym.

Trzeci program komputerowy nosi nazwę „*Doradcy jakości*”. Został on zaprojektowany jako narzędzie wspomagające pracę nadawców, projektantów kodeków percepcyjnych lub projektantów systemów dźwięku dookólnego w sytuacjach, gdzie ograniczenie całkowitego pasma dźwięku dookólnego jest nieuchronne. Na podstawie zadanych przez użytkownika parametrów, *Doradca jakości* proponuje cztery najlepsze metody ograniczenia całkowitego pasma dźwięku dookólnego, informując jednocześnie użytkownika o przewidywanej jakości dźwięku.

Potencjalną korzyścią wynikającą z opracowanego systemu eksperckiego jest to, że może on być pomocny przy aktualizacji istniejących modeli parametrycznych przeznaczonych do obiektywnej oceny jakości dźwięku lub mowy, na przykład *E-modelu* ustandaryzowanego przez ITU^{xix}, z wersji monofonicznej do wersji uwzględniającej wielokanałową transmisję sygnałów dźwiękowych.

- H10 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Feature Extraction for the Prediction of Multichannel Spatial Audio Fidelity*. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Vol. 14, No. 6, pp. 1994-2005, November, 2006. (DOI: 10.1109/TASL.2006.883248, $IF_{5-lat @ 2011} = 1,962$)^{xx}

Nowatorski wkład

Dokonano identyfikacji zbioru cech umożliwiających obiektywną ocenę przestrzennej wierności dźwięku wielokanałowego.

Podsumowanie

Celem pracy była identyfikacja cech sygnałowych, pozyskiwanych z dźwiękowych nagrań wielokanałowych, do obiektywnej oceny dwóch atrybutów dźwięku dookólnego: wierności przestrzennej frontowej oraz wierności przestrzennej dookólnej. W eksperymencie wykorzystano fonotekę składającą się z ponad 150 nagrań dźwiękowych poddanych kontrolowanemu pogorszeniu jakości dźwięku poprzez zawężenie pasma poszczególnych kanałów dźwięku lub poprzez wykorzystanie algorytmów *down-mixu*. Nagrania te zostały subiektywnie ocenione przez grupę ekspertów pod względem wierności przestrzennej frontowej oraz wierności przestrzennej dookólnej, w wyniku czego uzyskano bazę danych zawierającą wyniki dokonanych ocen. W ten sposób uzyskana baza danych wraz z nagraniami dźwiękowymi została następnie użyta do kalibracji metody obiektywnej oceny wierności przestrzennej dźwięku dookólnego.

^{xix} ITU-T G.107, “The E-model: a computational model for use in transmission planning,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (1998-2015)

^{xx} W przypadku niniejszego artykułu podano 5-letni czynnik wpływu (*Impact Factor*) na poziomie roku 2011 z przyczyn opisanych w rozdziale 6.1.

W uzyskanej bazie danych wykryto istnienie efektu niwelacji zakresu skali (*range equalising bias*), opisanego we wcześniej cytowanej publikacji H8. Efekt ten został następnie skompensowany. Dzięki wykryciu tego zjawiska oraz jego skompensowaniu możliwe było uniknięcie dalszej propagacji błędu pomiarowego podczas kalibracji algorytmu obiektywnej oceny jakości dźwięku. Zaistniały problem oraz jego rozwiązanie ilustruje, jak ważna jest znajomość potencjalnych błędów pomiarowych towarzyszących współczesnym metodom subiektywnej oceny jakości dźwięku, na co wskazuje wcześniej już omówiona publikacja H8.

Głównym rezultatem publikacji jest wyłonienie cech sygnałowych pozwalających na ocenę wierności przestrzennej dźwięku. W świetle uzyskanych wyników, do celów pomiaru frontowej wierności przestrzennej rekomendowany jest zbiór następujących cech: średnia wartość szerokopasmowego współczynnika korelacji pomiędzy lewym i prawym uchem sztucznego słuchacza przy orientacji głowy (azymucie) równym 0 stopni, maksymalna wartość wspomnianego współczynnika przy azymucie wynoszącym odpowiednio 0, 150 oraz 180 stopni, środek ciężkości koherencji widmowej oraz iloczyn stosunku energii w tylnych głośnikach do energii w przednich głośnikach i współczynnika korelacji przy azymucie 90 stopni. Natomiast do pomiaru wierności przestrzennej dookólnej rekomendowane są następujące cechy: znormalizowana uśredniona częstotliwość graniczna charakterystyki widmowej (*rescaled average spectral rolloff*), środek ciężkości koherencji widmowej oraz maksymalny współczynnik korelacji przy azymucie orientacji głowy wynoszącym odpowiednio 60, 90, 120 oraz 180 stopni.

Wyniki eksperymentów walidacyjnych pokazały, że opracowany obiektywny algorytm oceny wierności dźwięku dookólnego, w którym wykorzystano wyżej wymienione cechy sygnałowe, pozwala na uzyskanie zadowalającej precyzji pomiarowej, porównywalnej z dokładnością uzyskiwaną w subiektywnych metodach oceny jakości dźwięku wielokanałowego.

- H11 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, P. Jackson, R. Conetta, M. Dewhurst, D. Meares, S. Bech, *Development and Validation of an Unintrusive Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 58, 12, pp. 1013-1031, December, 2010. ($IF_{2010} = 0,483$)

Nowatorski wkład

Opracowano i przetestowano metodę obiektywnej oceny wrażenia bycia otoczonym i „zanurzonym” przez dźwięk pod wpływem odtwarzanych nagrań dźwięku dookólnego.

Podsumowanie

Celem pracy było opracowanie metody obiektywnej oceny poziomu wrażenia, w którym słuchacze czują się otoczeni i „zanurzeni” przez dźwięk. Wrażenie to, określane w języku angielskim słowem *envelopment*, jest jednym z kluczowych czynników wpływających na ocenę jakości dźwięku dookólnego. Dlatego też opracowanie wspomnianej metody było ważnym krokiem w kierunku opracowania „miernika” jakości dźwięku dookólnego.

Do celów opracowania niniejszej metody przygotowano fonotekę składającą się z ponad dwustu pięciokanałowych nagrań dookólnych, które poddano takim procesom jak kodowanie stratne, ograniczenie pasma lub algorytmy *down-mixu*. W przeprowadzonych eksperymentach wykorzystano dwie bazy danych. Pierwsza z nich, uzyskana w Uniwersytecie Surrey w Wielkiej Brytanii, została użyta do kalibracji opracowanej metody. Drugą bazę danych, pozyskaną w laboratorium odsłuchowym firmy B&O w Danii, wykorzystano do walidacji opracowanego algorytmu. Uzyskane wyniki pokazały, że opracowana metoda daje oceny wysoko skorelowane z wynikami uzyskanymi przy użyciu metody subiektywnej, przy zachowaniu zadowalającej precyzji pomiarowej (porównywalnej z precyzją metod subiektywnych).

Niektóre cechy sygnałowe zidentyfikowane w publikacji poprzedniej [H10] zostały zaadaptowane do celu opracowania niniejszej metody. W opracowanej metodzie wykorzystano następujące cechy sygnałowe: częstotliwość graniczna charakterystyki widmowej (*spectral rolloff*), powierzchnia rozkładu dźwięku (*area of sound distribution*), uśredniony współczynnik korelacji sygnałów lewego i prawego ucha sztucznego słuchacza obliczany w pasmach oktaowych przy wybranych kątach orientacji głowy, procentowa wartość wariancji pierwszego wektora własnego uzyskanego w wyniku transformacji *KLT* oraz zlogarytmowana wartość środka ciężkości histogramu dominujących kątów docierającego dźwięku.

Jak wspomniano wcześniej w rozdziale 4.2.h (System Ekspercki 2 – *Enwelometr*), cechą wyróżniającą opracowaną metodę jest to, że posiada ona topologię jednostronną (*single-ended*). W odróżnieniu od algorytmów dwustronnych (*double-ended*), algorytmy jednostronne są łatwiejsze w zastosowaniu, jednak trudniejsze w opracowaniu. Opracowanie algorytmu o topologii jednostronnej było w tym przypadku możliwe dzięki wykorzystaniu jednej z metod standaryzacji skal pomiarowych rekomendowanych we wcześniej opisanej publikacji H8.

- H12 **S. ZIELIŃSKI**, *Is a Multi-Slider Interface Layout Responsible for a Stimulus Spacing Bias in the MUSHRA Test?* Archives of Acoustics. Vol. 40, 4, pp. 585-594, December, 2015. (DOI: 10.1515/aoa-2015-0058, $IF_{2014} = 0,565$).

Nowatorski wkład

W pracy wykazano, że wielo-suwakowy układ interfejsu nie jest odpowiedzialny za błąd rozmieszczenia bodźca w metodzie *MUSHRA*.

Podsumowanie

W pierwszych sześciu pracach niniejszego cyklu [H1-H6] do celów subiektywnej oceny jakości dźwięku dookólnego wykorzystano metodę powszechnie znaną pod akronimem *MUSHRA*. Jest to metoda rekomendowana przez *Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny* (norma ITU-R BS. 1534, 2001–2014). Pomimo tego, że prace o numerach H9 oraz H10 poświęcone były obiektywnej ocenie jakości dźwięku dookólnego, jednak do kalibracji algorytmów w nich opisanych wykorzystano bazy danych otrzymane również za pomocą wspomnianej metody *MUSHRA*. Metoda ta, mimo swojej popularności w środowiskach badawczych i naukowych, wciąż

wymaga dalszego udoskonalenia, gdyż jest podatna na systematyczne błędy pomiarowe, co zostało zilustrowano przez autora w ostatniej publikacji cyklu o numerze H13.

Jedno z możliwych źródeł systematycznego błędu pomiarowego w metodzie *MUSHRA* może być przypisane graficznemu układowi interfejsu użytkownika. W niniejszej pracy założono, że liczne suwaki ułożone obok siebie w oryginalnym interfejsie metody *MUSHRA* przyczyniają się u słuchaczy do wzrokowego uszeregowania wyników i w konsekwencji stanowią potencjalne źródło błędu rozmieszczenia bodźca.

W celu przebadania hipotezy stanowiącej, że zastąpienie w metodzie *MUSHRA* interfejsu wielo-suwakowego interfejsem jedno-suwakowym spowoduje zmniejszenie błędu rozmieszczenia bodźca, przeprowadzono eksperyment wykorzystujący grupę 120 słuchaczy. Zgodnie z otrzymanymi wynikami powyższa modyfikacja nie zmniejszyła błędu pomiarowego. Uzyskany wynik może być potraktowany jako jeden z dowodów potwierdzających zasadność używania wielo-suwakowego interfejsu w metodzie *MUSHRA*. Maksymalna wielkość błędu, wynosząca 27%, została zaobserwowana dla średniej jakości dźwiękowego bodźca odniesienia (ang. *anchor*).

- H13 **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests (Part 2): Selected Graphical Examples and Discussion*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 64, 1/2, pp. 55-74, January/February, 2016. (DOI: 10.17743/jaes.2015.0094, $IF_{2014} = 1,123$)

Nowatorski wkład

Zilustrowano przykłady błędów pomiarowych w odsłuchowych testach jakości dźwięku. Zaproponowano zalecenia, które mogą pomóc badaczom uniknąć, zredukować lub zdiagnozować błędy systematyczne napotymane w subiektywnych metodach oceny jakości dźwięku.

Podsumowanie

Artykuł jest kontynuacją jednej z wcześniejszych publikacji cyklu, która prezentowała przegląd błędów napotypanych w odsłuchowych testach jakości dźwięku [H8]. Artykuł niniejszy zawiera nowy, jak również stary, ale na nowo przeanalizowany materiał. O ile poprzedni artykuł dotyczył szerokiego zakresu błędów, w niniejszej publikacji skoncentrowano się na pięciu typach błędów systematycznych. W odróżnieniu od poprzedniej publikacji [H8], gdzie błędy zilustrowane były głównie przy użyciu wykresów abstrakcyjnych lub teoretycznych, niniejszy artykuł oparty jest na danych empirycznych. Wykresy ilustrujące błędy zostały wykreślone przy użyciu danych uzyskanych przez niniejszego autora, pozyskanych bezpośrednio od innych badaczy lub zaczerpniętych z literatury z okresu ostatnich 15 lat. Praca zawiera dyskusję i zalecenia, które mogą pomóc badaczom uniknąć lub zredukować błędy systematyczne spotykane obecnie w subiektywnych metodach oceny dźwięku.

Niniejsza praca ilustruje zarówno występowanie błędów subiektywnej oceny jakości dźwięku dookólnego, jak również ukazuje występowanie wspomnianych błędów w szerszym zakresie oceny jakości dźwięku i mowy. Na przykład, trzy ilustracje w niniejszym artykule pokazują, w jaki sposób efekt niwelacji zakresu (*range equalising bias*) wpływa na wyniki ocen powszechnie stosowanych w telekomunikacji metod do subiektywnej (metoda *ACR*^{xxi}) jak również do obiektywnej oceny jakości transmitowanej mowy (metody *PESQ*^{xxii} oraz *POLQA*^{xxiii}), zgodnych ze standardami *ITU-T* (Rys. 2, 3 oraz 4).

Wciąż istnieje potrzeba dalszych badań charakteryzujących standardowe metody oceny jakości dźwięku i mowy pod względem ich podatności na błędy pomiarowe. Ze względu na to, iż wielkość błędu w ocenach ilościowych bardzo zależy od liczby bodźców poddanych ocenie, ich zakresu oraz współczynnika asymetrii rozkładu, parametry te powinny być uwzględnione w przyszłych eksperymentach dotyczących metodologii oceny jakości mowy i dźwięku. Ponadto, kolejne prace badające błędy w ocenie jakości powinny uwzględniać takie czynniki jak typ słuchaczy oraz metoda kalibracji skal ocen. Tego typu podejście do planowania eksperymentów w niniejszej dziedzinie może nie tylko udoskonalić metody subiektywne, ale również polepszyć wiarygodność metod przeznaczonych do obiektywnej oceny jakości dźwięku.

5.4. Wpływ cyklu publikacji

Jak wspomniano wyżej, wszystkie artykuły należące do wskazanego wyżej cyklu publikacji [H1-H13] zostały opublikowane w czasopiśmie z listy *JCR ISI*. Zgodnie z danymi pochodzącymi z bazy *Web of Science* zaprezentowany wyżej cykl publikacji posiada sumarycznie **76 cytowań z pominięciem autocytowań**. Wartość ta podawana w bazach bibliometrycznych *Scopus* oraz *Google Scholar* jest większa i wynosi odpowiednio 145 oraz 239 cytowań.

Spośród wszystkich publikacji cyklu studium literaturowe dotyczące błędów napotykanym w metodach subiektywnej oceny jakości dźwięku [H8] jest pracą najczęściej cytowaną w literaturze naukowej. Według bazy *Web of Science* praca ta posiada 29 cytowań, natomiast zgodnie z bazami *Scopus* oraz *Google Scholar* jest ona cytowana odpowiednio 47 oraz 76 razy pomijając autocytowania. Odnośnik do niniejszej publikacji został umieszczony na stronie internetowej Instytutu Nauk Telekomunikacyjnych (*Institute for Telecommunication Sciences*), w raporcie opisującym badania związane z nową rekomendacją do oceny jakości audio-wizualnej (2011):

<http://www.its.bldrdoc.gov/resources/video-quality-research/standards/jav-dist-related-research.aspx>

^{xxi} *ACR – Absolute Category Rating*. ITU-T P.800, “Methods for Subjective Determination of Transmission Quality,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (1996)

^{xxii} *PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality*. ITU-T P.862, “Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ): An Objective Method for End-to-End Speech Quality Assessment of Narrow-Band Telephone Networks and Speech Codecs,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (2001).

^{xxiii} *POLQA – Perceptual Objective Listening Quality Assessment*. ITU-T P.863, “Perceptual Objective Listening Quality Assessment,” International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland (2014).

Drugą najczęściej cytowaną publikacją cyklu jest artykuł, w którym oszacowano, w jakim stopniu jakość dźwięku przestrzennego zależy od wierności brzmieniowej oraz wierności przestrzennej [H6]. Według bazy *Web of Science* praca ta była cytowana 14 razy z pominięciem autocytowań. Trzecią najczęściej cytowaną publikacją cyklu jest artykuł poświęcony ocenie wpływu algorytmów ograniczających liczbę kanałów na jakość dźwięku dookólnego [H2]. Pomijając autocytowania, praca ta przywoływana była w literaturze ośmiokrotnie.

Zaprezentowany cykl publikacji w chwili obecnej nie posiada przełożenia na zastosowania komercyjne, jednak niektóre procedury opisane w publikacji H11 zostały objęte ochroną własności intelektualnej, co zostało szczegółowo opisane w rozdziale 6.1 (Udzielone patenty).

5.5. Udział autora

Udział autora w powstanie zaprezentowanego wyżej cyklu publikacji H1-H13 opisano w odrębnym załączniku (Załącznik 5). Załącznik ten zawiera zarówno oświadczenie autora niniejszego autoreferatu jak również oświadczenia współautorów, szczegółowo określające indywidualny wkład każdego z nich. Oświadczenia uzyskano od wszystkich współautorów cyklu (w kolejności alfabetycznej):

- Søren Bech (Bang & Olufsen)
- Robert Conetta (Sandy Brown Associates LLP)
- Martin Dewhirst (University of Surrey)
- Sunish George (Harman Becker Automotive Systems GmbH)
- Philip Jackson (University of Surrey)
- Yu Jiao (BrandWisdom Ltd)
- Rafael Kassier (PhD, Surrey)
- David Meares (BBC R&D)
- Francis Rumsey (logophon)

6. WYKAZ INNYCH OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH ORAZ WSKAŹNIKI DOKONAŃ NAUKOWYCH

6.1. Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe

Autor niniejszego dokumentu jest drugim współautorem wynalazku opatentowanego w Stanach Zjednoczonych (USA). Patent ten opisuje metodę pozwalającą na prognozowanie przestrzennej jakości przetwarzanego lub odtwarzanego dźwięku. Opatentowany instrument pomiarowy może zastąpić drogie i czasochłonne testy odsłuchowe, na przykład podczas opracowywania i optymalizacji różnego rodzaju systemów przetwarzania lub odtwarzania dźwięku przestrzennego. Skrócony opis patentu wraz z odnośnikiem internetowym do jego pełnej treści zawarto poniżej w Tab. 1.

Tab. 1. Skrócony opis patentu.

autorzy	F. Rumsey, S. ZIELIŃSKI , P. Jackson, M. Dewhirst, R. Conetta, S. George, S. Bech, D. Meares, B. Supper
tytuł	System, devices and methods for predicting the perceived spatial quality of sound processing and reproducing equipment
kraj	USA
numer patentu	US 8238563 B2
data	rok zgłoszenia patentowego – 2009 rok przyznania patentu – 2012
odnośnik do pełnego opisu patentu	http://www.google.com/patents/US8238563

Przykładem wykorzystania wynalazku jest wspomaganie projektowania i kalibracji wielokanałowych systemów dźwięku przestrzennego w zastosowania domowych, kinowych oraz samochodowych. Wynalazek może być również wykorzystany do kontroli jakości nadawanych programów telewizyjnych oraz jako podzespół innych algorytmów przeznaczonych do obiektywnej oceny jakości dźwięku. Należy zaznaczyć, że w czasie patentowania wynalazku istniejące metody pomiarowe, służące do obiektywnej oceny jakości dźwięku, nie uwzględniały cech dźwięku przestrzennego.

6.2. Sumaryczny *Impact Factor* oraz pozostałe dane bibliometryczne

Autor autoreferatu opublikował **79 publikacji**, w tym **63 artykuły po uzyskaniu stopnia doktora**. W poniższej tabeli podano liczbę publikacji autora z uwzględnieniem podziału według rodzaju publikacji oraz czasu ich opublikowania.

Tab. 2. Liczba publikacji przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Typ publikacji	Liczba publikacji	
	przed doktoratem	po doktoracie
publikacje w czasopismach	1	15
publikacje i streszczenia konferencyjne	15	48
Razem:	16	63

Wskaźniki bibliometryczne wszystkich publikacji autora podsumowane są w trzech kolejnych tabelach. Zawierają one sumaryczny czynnik wpływu (*Impact Factor*), indeks *Hirscha*, sumaryczną liczbę cytowań oraz łączną liczbę punktów przyznaną przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (*MNiSW*) zgodnie z wykazem z dnia 18 grudnia 2015 r. Tab. 6 6 zawiera odnośniki do baz literaturowych pozwalających na weryfikację zaprezentowanych danych bibliometrycznych.

Tab. 3. Sumaryczny *Impact Factor* oraz łączna liczba punktów *MNiSW*.

<i>Impact Factor</i>	Liczba punktów <i>MNiSW</i> (2015)
14,76	395

Tab. 4. Indeks *Hirscha*.

źródło danych	indeks <i>Hirscha</i>
<i>Web of Science</i>	8
<i>Scopus</i>	8
<i>Google Scholar</i>	15

Tab. 5. Liczba cytowań wszystkich publikacji autora.

źródło danych	liczba cytowań	liczba cytowań z pominięciem autocytowań
<i>Web of Science</i>	118	76
<i>Scopus</i>	213	146
<i>Google Scholar</i>	630	–

Tab. 6. Odnośniki do baz literaturowych pozwalających na weryfikację wskaźników bibliometrycznych.

baza danych bibliometrycznych	URL
<i>Web of Science ResearcherID</i>	http://www.researcherid.com/rid/K-4893-2013 Author Identifier: K-4893-2013 Indeks <i>Hirscha</i> oraz liczba cytowań podane są w sekcji 'Citation Metrics'
<i>Scopus</i>	http://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006637975 Author ID: 7006637975
<i>Google Scholar</i>	http://scholar.google.pl/citations?user=KAcxVnsAAAAJ

Sposób obliczenia sumarycznego czynnika wpływu oraz łącznej liczby punktów *MNiSW* zilustrowano w Tab. 7. Dla większości publikacji zaprezentowanych w tabeli, z wyjątkiem czterech artykułów omówionych poniżej, w obliczeniach uwzględniono czynnik wpływu zgodny z rokiem ich publikacji. We wszystkich przypadkach przyjęto punktację *MNiSW* zgodną z wykazem opublikowanym 18 grudnia 2015 r.

Praca o numerze [1] została opublikowana w czasopiśmie *Archives of Acoustics*, które w roku opublikowania nadmienionej pracy (1996) nie było jeszcze ujęte na liście *JCR ISI*. Czasopismo to zostało dołączone do wspomnianej listy dopiero w roku 2007. Poza tym, artykuł ten prezentował wyniki uzyskane w ramach pracy doktorskiej autora. Dlatego też, publikacja ta została pominięta przy obliczaniu parametrów bibliometrycznych w Tab. 7.

Czasopismo *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* w roku publikacji pracy o numerze [23] czasowo nie posiadało przydzielonego czynnika wpływu, co było podyktowane zmianą nazwy czasopisma. Przed rokiem 2006 czasopismo to nosiło nazwę *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*. Ze względu na wysoką rangę czasopisma w środowisku naukowym do celów obliczenia sumarycznego czynnika wpływu w Tab. 7 przyjęto pięcioletni czynnik wpływu wspomnianego czasopisma na poziomie roku 2011 ($IF_{5-lat @ 2011} = 1,962$).

Dwie najnowsze publikacje autora, oznaczone symbolami H12 oraz H13, nie posiadały przydzielonych wskaźników bibliometrycznych w czasie pisania niniejszego autoreferatu. Dlatego też w ich przypadku

w Tab. 7 zamieszczono najbardziej aktualny, dostępny czynnik wpływu oraz liczbę punktów *MNiSW* zgodną z wykazem opublikowanym 18 grudnia 2015 r.

Tab. 7. Wskaźniki bibliometryczne publikacji w recenzowanych czasopismach.

numer publikacji w wykazie prac naukowych na końcu autoreferatu (Rozdział 8)	numer publikacji w cyklu dotyczącym osiągnięcia naukowego (Rozdział 5)	skrótowa nazwa czasopisma wg bazy <i>Web of Science</i>	rok publikacji	<i>Impact Factor (IF)</i> czasopisma	liczba punktów <i>MNiSW</i> (2015)
[1]	-	ARCH ACOUST	1996	-	-
[17]	[H1]	J AUDIO ENG SOC	2003	$IF_{2003} = 0,894$	25
[18]	[H2]	J AUDIO ENG SOC	2003	$IF_{2003} = 0,894$	25
[19]	[H9]	J AUDIO ENG SOC	2005	$IF_{2003} = 0,527$	25
[20]	[H5]	J AUDIO ENG SOC	2005	$IF_{2005} = 0,527$	25
[21]	[H7]	J ACOUST SOC AM	2005	$IF_{2005} = 1,677$	35
[22]	[H6]	J ACOUST SOC AM	2005	$IF_{2005} = 1,677$	35
[23]	[H10]	IEEE T AUDIO SPEECH	2006	$IF_{5-lat@2011} = 1,962$	35
[24]	[H8]	J AUDIO ENG SOC	2008	$IF_{2008} = 0,824$	25
[25]	[H3]	J AUDIO ENG SOC	2008	$IF_{2008} = 0,824$	25
[26]	[H4]	J AUDIO ENG SOC	2009	$IF_{2009} = 0,537$	25
[27]	[H11]	J AUDIO ENG SOC	2010	$IF_{2010} = 0,483$	25
[28]	-	J AUDIO ENG SOC	2014	$IF_{2014} = 1,123$	25
[29]	-	J AUDIO ENG SOC	2014	$IF_{2014} = 1,123$	25
[30]	[H12]	ARCH ACOUST	2015	$IF_{2014} = 0,565$	15
[31]	[H13]	J AUDIO ENG SOC	2016	$IF_{2014} = 1,123$	25
Sumarycznie:				14,76	395

6.3. Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

Po ukończeniu pracy doktorskiej autor autoreferatu uczestniczył w trzech międzynarodowych projektach z udziałem partnerów przemysłowych. W projektach tych pełnił kolejno role wykonawcy (*Research Fellow*), zastępcy kierownika (*Co-Investigator*) oraz kierownika (*Principal Investigator*). Wszystkie projekty prowadzone były w Uniwersytecie Surrey w Wielkiej Brytanii i sponsorowane przez brytyjski Komitet Badań Inżynierskich i Nauk Fizycznych *EPSRC* ze wsparciem partnerów przemysłowych (tabela poniżej).

Tab. 8. Udział autora w projektach badawczych.

nazwy projektów	kierownik oraz zastępca (z-ca)	wykonawca	partner przemysłowy	środki	czas trwania
<p>Hierarchical Bandlimitation of Surround Sound – A Psychoacoustical Study <i>EPSRC Reference: EP/C527100/1</i></p> <p>Odnośnik organu finansującego: http://gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/C527100/1</p> <p>Odnośnik Uniwersytetu Surrey: http://iosr.surrey.ac.uk/projects/HBSS/</p>	<p>S. ZIELIŃSKI F. Rumsey (z-ca)</p>	Y. Jiao	–	£92k	2005-2008
<p>Quality of service evaluation for spatial audio coding and processing systems – Quality Evaluation of Spatial Transmission and Reproduction by an Artificial Listener (QESTRAL) <i>EPSRC Reference: EP/D041244/1</i></p> <p>Odnośnik organu finansującego: http://gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/D041244/1</p> <p>Odnośnik Uniwersytetu Surrey: http://iosr.surrey.ac.uk/projects/QESTRAL/</p>	<p>F. Rumsey S. ZIELIŃSKI (z-ca) P. Jackson (z-ca)</p>	<p>M. Dewhirst R. Conetta</p>	<p>Bang & Olufsen, Dania BBC, UK</p>	£279k	2006-2009
<p>Subjective quality trade-offs in consumer multichannel sound and video delivery systems <i>EPSRC Reference: GR/N24032/01</i></p> <p>Odnośnik organu finansującego: http://gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=GR/N24032/01</p> <p>Odnośnik Uniwersytetu Surrey: http://iosr.surrey.ac.uk/projects/quality/</p>	<p>F. Rumsey B. de Bruyn (z-ca)</p>	<p>S. ZIELIŃSKI R. Kassier</p>	<p>Bang & Olufsen, Dania BBC, UK</p>	£169k	2000-2003

Powyższe dane mogą być zweryfikowane przy użyciu portalu internetowego brytyjskiego Komitetu Badań Inżynierskich i Nauk Fizycznych EPSRC: <http://gow.epsrc.ac.uk/> Portal ten zawiera opis grantów badawczych wspieranych przez tę instytucję. W celu wyszukania grantu badawczego prowadzonego przez danego badacza, w portalu tym należy wybrać opcję *Researcher*, a następnie wpisać nazwisko kierownika grantu badawczego. Dla ułatwienia weryfikacji, w powyższej tabeli podano bezpośrednio odnośniki do opisów projektów opublikowanych zarówno w portalu internetowym Uniwersytetu Surrey, jak również w portalu organu finansującego projekty.

6.4. Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową

- a. Nagroda zespołowa przyznana przez **Dział Badań i Rozwoju BBC** dla F. Rumseya oraz S. Zielińskiego za pracę projektową *Subjective quality trade-offs in consumer multichannel sound and video delivery systems* w uznaniu za wkład badawczy Uniwersytetu Surrey do przemysłu nadawczego (2003)
- b. II Nagroda w Konkursie o Nagrodę im. Marka Kwieka przyznana przez Polskie Towarzystwo Akustyczne za wyróżniającą się prezentację naukową (1995)
- c. III Nagroda zespołowa w Konkursie o Nagrodę im. Marka Kwieka przyznana przez Polskie Towarzystwo Akustyczne za wyróżniającą się prezentację naukową (1997)
- d. Nagroda Prezesa Rady Ministrów za wyróżnioną rozprawę doktorską (1998)

6.5. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach

Autor autoreferatu posiada w swoim dorobku 63 publikacje konferencyjne, w tym 48 publikacji konferencyjnych po uzyskaniu stopnia doktora. Zaprezentował on osobiście wyniki swoich prac na 12 międzynarodowych i 2 krajowych konferencjach naukowych. Zostały one wymienione poniżej w chronologicznej kolejności. Poniższa lista obejmuje wyłącznie prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora i wyłącznie prace konferencyjne zaprezentowane osobiście przez autora autoreferatu.

Publikacji K13, zaprezentowanej na konwencji *Audio Engineering Society* w San Francisco w roku 2008, towarzyszyła odrębna sesja demonstracyjna z wykorzystaniem wielokanałowego systemu głośnikowego. Podczas sesji tej autor autoreferatu zademonstrował nowo opracowany algorytm obiektywnej oceny jednej z cech dźwięku przestrzennego.

- K1 **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *A Method for Echo Cancellation in Audio Signals Using the Genetic Algorithm*. Joint Meeting, 137th regular meeting of the Acoustical Society of America and the 2nd convention of the EAA: Forum Acusticum - integrating the 25th German Acoustics DAGA Conference, Berlin, Germany, 14-19.03.1999.
- K2 **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *A Novel Approach to Echo Cancellation*. Presented at Audio Engineering Society 106th Convention, Preprint No. 4901, Munich, Germany, 8-11.05.1999.
- K3 **S. ZIELIŃSKI**, *New Method of Echo Cancellation*. Materiały konferencyjne VIII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku, str. 31-34, Gdańsk, 9-11.09.1999.
- K4 **S. ZIELIŃSKI**, *Sound Synthesis Using Digital Waveguide Modeling*, Materiały konferencyjne VIII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku, str. 213-216, Gdańsk, 9-11.9.1999.
- K5 Czyżewski, R. Królikowski, **S. ZIELIŃSKI**, B. Kostek, *Echo and Noise Reduction Methods for Multimedia Communication Systems*. IEEE Signal Processing Society 1999 Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 239-244, Copenhagen, Denmark, 13-15.09.1999.
- K6 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Subjective audio quality trade-offs in consumer multichannel audio-visual delivery systems. Part I: Effects of high frequency limitation*. Presented at Audio Engineering Society 112th Convention, Paper 5562, Munich, Germany, 10-13.03.2002.
- K7 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Comparison of quality degradation effects caused by limitation of bandwidth and by down-mix algorithms in consumer multichannel audio delivery systems*. Presented at Audio Engineering Society 114th Convention, Paper 5802, Amsterdam, Netherlands, 22-25.03.2003.
- K8 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, B. De Bruyn, R. Kassier, *Computer games and multichannel audio quality – the effect of division of attention between auditory and visual modalities*. Presented at Audio Engineering Society 24th International Conference on Multichannel Audio, Banff, Canada, 26-28.06.2003.
- K9 **S. ZIELIŃSKI**, J. Mayne, F. Rumsey. *Improving Intelligibility of Surround Sound Using Principal Component Decomposition*. Presented at the Reproduced Sound 21 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 27. Pt. 5. Oxford, UK, 4-5.11.2005.
- K10 **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Listening Tests*. Proceedings of an international workshop on Spatial Audio and Sensory Evaluation Techniques, University of Surrey, Guildford, UK, 6-7.04.2006. (<http://iosr.surrey.ac.uk/projects/ias/papers/Zielinski.pdf>)
- K11 **S. ZIELIŃSKI**, P. Hardisty, Ch. Hummersone, F. Rumsey, *Potential Biases in MUSHRA Listening Tests*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7179, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.

- K12 **S. ZIELIŃSKI**, P. Brooks, F. Rumsey, *On the Use of Graphic Scales in Modern Listening Tests*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7176, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.
- K13 S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Conetta, M. Dewhirst, P. Jackson, D. Meares, S. Bech, *An Unintrusive Objective Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7599, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- K14 **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Towards Unification of Methods for Speech, Audio, Picture and Multimedia Quality Assessment*. Presented at Audio Engineering Society 138th Convention, Paper 9308, Warsaw, Poland, 7-10.05.2015.

7. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA ORAZ ORGANIZACYJNA

7.1. Działalność dydaktyczna

Autor autoreferatu prowadził zajęcia dydaktyczne w czterech niżej wymienionych instytucjach akademickich. Oprócz typowych wykładów i zajęć laboratoryjnych do dydaktycznych obowiązków autora należało również wizytowanie studentów w miejscach praktyk oraz prowadzenie warsztatów naukowych dla studentów doktoranckich (szczegóły poniżej).

a. POLITECHNIKA GDAŃSKA, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

wykłady	syntezery foniczne, technologia nagrań, studyjna technika wizyjno-foniczna
laboratoria	laboratorium syntetyzerów fonicznych, laboratorium techniki nagłaśniania, laboratorium akustyki muzycznej, laboratorium przetwarzania dźwięków i obrazów, laboratorium terminali telekomunikacyjnych

b. POLSKO-JAPOŃSKA WYŻSZA SZKOŁA TECHNIK KOMPUTEROWYCH, Katedra Multimediów (zatrudnienie dodatkowe na umowę o dzieło, 1998-1999)

wykłady	metody syntezy dźwięku
laboratoria	laboratorium techniki rejestracji i transmisji danych

c. **UNIwersYTET SURREY, Instytut Nagrań Dźwięku [UNIVERSITY OF SURREY, Institute of Sound Recording], Wielka Brytania**

wykłady	elektroakustyka [Electroacoustics], przetwarzanie sygnałów dźwiękowych [Audio Signal Processing], synteza dźwięku [Sound Synthesis]
laboratoria	laboratorium dźwięku [Audio Laboratory]
dodatkowe obowiązki dydaktyczne	funkcja opiekuna studentów na praktykach przemysłowych w Wielkiej Brytanii [Professional Placement Tutoring] przeprowadzenie serii czterech sesji warsztatowych dla studentów doktoranckich w dziedzinie statystycznej analizy danych

d. **POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, Wydział Informatyki**

ćwiczenia	podstawy elektrotechniki i elektroniki
laboratoria	układy elektroniczne i technika pomiarowa, technika cyfrowa

7.2. Działalność organizacyjna

a. **Specjalista do spraw rekrutacji (*Admissions Tutor*)**

W roku akademickim 2004-2005 autor autoreferatu pełnił funkcję specjalisty do spraw rekrutacji (*Admissions Tutor*) na studia I stopnia w kierunku *Music and Sound Recording (Tonmeister)* w Uniwersytecie Surrey w Wielkiej Brytanii. Do jego obowiązków należała wstępna selekcja podań kandydatów na studia, koordynacja działań podczas dni otwartych, koordynacja i przeprowadzanie rozmów kwalifikacyjnych z kandydatami oraz podejmowanie ostatecznej decyzji o przyjęciu na studia.

b. **Opiekun studentów w osiedlu akademickim (*Campus Warden*)**

W latach 2003-2009 autor autoreferatu pełnił rolę zastępcy opiekuna, a następnie opiekuna studentów (*Warden*) w jednym z sektorów osiedla akademickiego Uniwersytetu Surrey. Pod koniec tego czasookresu, w roku akademickim 2008-2009, był on odpowiedzialny za około 500 studentów mieszkających w kampusie uniwersytetu. Do jego obowiązków należała pomoc studentom w zaadaptowaniu się w osiedlu akademickim, pomoc studentom w rozwiązywaniu trudnych sytuacji oraz stosowanie sankcji dyscyplinarnych wobec studentów naruszających regulamin kampusu uczelni.

8. WYKAZ PRAC NAUKOWYCH

Prace niniejszego autora zaprezentowano w porządku chronologicznym. Zostały one podzielone na artykuły opublikowane przed i po uzyskaniu stopnia doktora. W każdej z grup wydzielono dodatkowo dwie kategorie: (a) publikacje w recenzowanych czasopismach oraz (b) publikacje konferencyjne.

8.1. Prace przed uzyskaniem stopnia doktora

a. Publikacje w recenzowanych czasopismach

- [1] A. Czyżewski, B. Kostek, **S. ZIELIŃSKI**, *Synthesis of Organ Pipe Sound Based on Simplified Physical Models*. Archives of Acoustics, Vol. 21, No. 2, pp. 131-147, 1996.

b. Publikacje konferencyjne

- [2] B. Kostek, A. Czyżewski, **S. ZIELIŃSKI**, *Artificial Intelligence Approach to the Detection of Events in Musical Signal*, Presented at Audio Engineering Society 96th Convention, Preprint No. 3822 (P7.8), Amsterdam, The Netherlands, 26.2-1.3.1994.
- [3] B. Kostek, **S. ZIELIŃSKI**, *Synteza dźwięku na stacji roboczej w systemie UNIX*, XLI Otwarte Seminarium z Akustyki, Wrocław-Szklarska Poręba, Zeszyty Naukowe Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej Nr 78, 13-16.09.1994.
- [4] B. Kostek, **S. ZIELIŃSKI**, *Computer Applications to Synthesis and Analysis of Sound*. IV cykl seminariów Zastosowanie Komputerów w Dydaktyce'94, PTETiS Oddział w Gdańsku, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrycznego Politechniki Gdańskiej, Nr 6, str. 65-72, 1994.
- [5] **S. ZIELIŃSKI**, *Synteza falowodowa dźwięków instrumentów naturalnych*. Materiały konferencyjne VI Sympozjum Reżyserii i Inżynierii Dźwięku, str. 190-195, 26-28.10.1995.
- [6] B. Kostek, **S. ZIELIŃSKI**, *Computers in teaching the sound technology*. V cykl seminariów Zastosowanie Komputerów w Dydaktyce'95, PTETiS Oddział w Gdańsku, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrycznego Politechniki Gdańskiej, Nr 8, str. 105-112, 1995.
- [7] **S. ZIELIŃSKI**, *Synteza dźwięku piszczałek organowych przy użyciu metody falowodowej*. XLII Otwarte Seminarium z Akustyki, Prace Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, C4, str. 523-526, Warszawa-Białowieża, 12-15.9.1995.
- [8] A. Czyżewski, B. Kostek, **S. ZIELIŃSKI**, *New approach to the synthesis of organ pipe sound*. Presented at Audio Engineering Society 98th Convention, Preprint No. 3957 (E2), Paris, France, 25-28.02.1995.

- [9] **S. ZIELIŃSKI**, *Digital Waveguide Modelling Versus Mathematical Modelling of Organ Flue Pipe*. Presented at Audio Engineering Society 100th Convention, Preprint No. 4170 (E-3), Copenhagen, Denmark, 11-14.05.1996.
- [10] **S. ZIELIŃSKI**, A. Ledóchowski, *Synteza dźwięku organowej piszczałki języczkowej przy użyciu metody modelowania fizycznego*. Materiały konferencyjne XLIII Otwartego Seminarium z Akustyki, str. 756-760, Gliwice-Ustroń, 17-20.09.1996.
- [11] **S. ZIELIŃSKI**, G. Szwoch, *Optimization Study of Digital Waveguide Model of the Organ Flue Pipe*, Materiały konferencyjne XLIII Otwartego Seminarium z Akustyki, str. 761-766, Gliwice-Ustroń, 17-20.09.1996.
- [12] **S. ZIELIŃSKI**, *Digital Waveguide Modeling of the Organ Flue Pipe*. Proc. of the 19th Tonmeistertagung. pp. 792-797, Stadhalle Karlsruhe, Germany, 15-18.11.1996.
- [13] G. Szwoch, **S. ZIELIŃSKI**, *Wpływ przesunięcia górnej wargi względem osi strumienia powietrza w falowodowym modelu piszczałki organowej na widmo dźwięku*. Materiały konferencyjne XLIV Otwartego Seminarium z Akustyki, str. 655-660, Gdańsk - Jastrzębia Góra, 15-18.9.1997.
- [14] **S. ZIELIŃSKI**, A. Banasiak, G. Szwoch, *Problemy falowodowej syntezy dźwięku instrumentów strunowych*, Materiały konferencyjne VII Sympozjum Reżyserii i Inżynierii Dźwięku, str. 15-22, Kraków, 25-27.06.1997.
- [15] G. Szwoch, **S. ZIELIŃSKI**, *Problemy intonacji falowodowego modelu piszczałki organowej*, Materiały konferencyjne VII Sympozjum Reżyserii i Inżynierii Dźwięku, str. 203-210, Kraków, 25-27.06.1997.
- [16] **S. ZIELIŃSKI**, G. Szwoch, *Application of Chebyshev Polynomials to Calculation of the Nonlinear Characteristics of the Digital Waveguide Model of the Organ Pipe*. Presented at Audio Engineering Society 102nd Convention, Preprint No. 4499, Munich, Germany, 22-25.03.1997.

8.2. Prace po uzyskaniu stopnia doktora

a. Publikacje w recenzowanych czasopismach

- [17] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech. *Effects of bandwidth limitation on audio quality in consumer multichannel audio-visual delivery systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 6, pp. 475–501, 2003. ($IF_{2003} = 0,894$)
- [18] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech. *Effects of down-mix algorithms on quality of surround sound*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 51, 9, pp. 780-798, 2003. ($IF_{2003} = 0,894$)
- [19] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech. *Development and Initial Validation of a Multichannel Audio Quality Expert System*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 53, 1/2, pp. 4-21, January/February 2005. ($IF_{2005} = 0,527$)
- [20] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech. *Comparison of Basic Audio Quality and Timbral and Spatial Fidelity Changes Caused by Limitation of Bandwidth and by Down-mix Algorithms in 5.1*

- Surround Audio Systems*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol 53, 3, pp. 174-192, March, 2005. ($IF_{2005} = 0,527$)
- [21] F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech. *Relationships between experienced listener ratings of multichannel audio quality and naïve listener preferences*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 117, 6, pp. 3832-3840, June, 2005. (DOI: 10.1121/1.1904305, $IF_{2005} = 1,677$)
- [22] F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, R. Kassier, S. Bech. *On the relative importance of spatial and timbral fidelities in judgments of degraded multichannel audio quality*. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 118, 2, pp. 968–976, August, 2005. (DOI: 10.1121/1.1945368, $IF_{2005} = 1,677$)
- [23] S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey. *Feature Extraction for the Prediction of Multichannel Spatial Audio Fidelity*. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Vol. 14, No. 6, pp. 1994-2005, November, 2006. (DOI: 10.1109/TASL.2006.883248, $IF_{5-lat @ 2011} = 1,962$)
- [24] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech. *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests – A Review*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 6, pp. 427-451, June, 2008. ($IF_{2008} = 0,824$)
- [25] Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey. *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part I: Psychoacoustically Hierarchical Transform*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 56, 12, pp. 1057-1068, December, 2008. ($IF_{2008} = 0,824$)
- [26] Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey. *Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound. Part II: Optimisation of Bandwidth Allocation Strategy*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 57, 1/2, pp. 5-15, January/February, 2009. ($IF_{2009} = 0,537$)
- [27] S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, P. Jackson, R. Conetta, M. Dewhurst, D. Meares, S. Bech. *Development and Validation of an Unintrusive Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 58, 12, pp. 1013-1031, December, 2010. ($IF_{2010} = 0,483$)
- [28] R. Conetta, T. Brookes, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, M. Dewhurst, P. Jackson, S. Bech, D. Meares, S. George, *Spatial Audio Quality Perception (Part 1): Impact of Commonly Encountered Processes*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 62, 12, pp. 831-846, December, 2014. (DOI: 10.17743/jaes.2014.0048, $IF_{2014} = 1,123$)
- [29] R. Conetta, T. Brookes, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, M. Dewhurst, P. Jackson, S. Bech, D. Meares, S. George, *Spatial Audio Quality Perception (Part 2): A Linear Regression Model*. Journal of the Audio Engineering Society. Vol. 62, 12, pp. 847-860, December, 2014. (DOI: 10.17743/jaes.2014.0047, $IF_{2014} = 1,123$)
- [30] **S. ZIELIŃSKI**, *Is a Multi-Slider Interface Layout Responsible for a Stimulus Spacing Bias in the MUSHRA Test?* Archive of Acoustics. Vol. 40, No. 4, pp. 585-594, 2015. (DOI: 10.1515/aoa-2015-0058, $IF_{2014} = 0,565$)
- [31] **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests (Part 2): Selected Graphical Examples and Discussion*, Vol. 64, 1/2, pp. 55-74, January/February, 2016. (DOI: 10.17743/jaes.2015.0094, $IF_{2014} = 1,123$)

b. Publikacje konferencyjne

- [32] **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *A Method for Echo Cancellation in Audio Signals Using the Genetic Algorithm*. Joint Meeting, 137th regular meeting of the Acoustical Society of America and the 2nd convention of the EAA: Forum Acusticum - integrating the 25th German Acoustics DAGA Conference, Berlin, Germany, 14-19.03.1999.
- [33] **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *A Novel Approach to Echo Cancellation*. Presented at Audio Engineering Society 106th Convention, Preprint No. 4901, Munich, Germany, 8-11.05.1999.
- [34] **S. ZIELIŃSKI**, *New Method of Echo Cancellation*. Materiały konferencyjne VIII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku, str. 31-34, Gdańsk, 9-11.09.1999.
- [35] **S. ZIELIŃSKI**, *Sound Synthesis Using Digital Waveguide Modeling*, Materiały konferencyjne VIII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku, str. 213-216, Gdańsk, 9-11.9.1999.
- [36] Czyżewski, R. Królikowski, **S. ZIELIŃSKI**, B. Kostek, *Echo and Noise Reduction Methods for Multimedia Communication Systems*. IEEE Signal Processing Society 1999 Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 239-244, Copenhagen, Denmark, 13-15.09.1999.
- [37] A. Czyżewski, R. Królikowski, **S. ZIELIŃSKI**, B. Kostek, *Intelligent Echo and Noise Reduction*. 3rd World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI'99) and the 5th International Conference on Information System Analysis and Synthesis (ISAS'99), Vol. 4, pp. 234-238, Orlando, USA, 31.07-4.08.1999.
- [38] A. Czyżewski, **S. ZIELIŃSKI**, R. Królikowski, *Inteligentne metody redukcji szumu i echa w sygnale fonicznym*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Systemy i Technologie Telekomunikacji Multimedialnej STM 2000, str. 279-284, Łódź, 14-15.03.2000.
- [39] P. Ody, A. Kornacki, **S. ZIELIŃSKI**, A. Czyżewski, *Wpływ obrazu na lokalizację pozornych źródeł dźwięku*. Materiały konferencyjne VII Sympozjum z cyklu Nowości w Technice Audio, str. 13-20, Warszawa-Torwar, 6-7.10.2000.
- [40] Czyżewski, A. Kornacki, B. Kostek, P. Ody, **S. ZIELIŃSKI**, *Influence of visual cues on the perception of surround sound*, 139th Meeting of the Acoustical Society of America, J. Acoust. Soc. Amer., No. 5, Vol. 107, Preprint No. 3aPP14, p.2851, Atlanta, GA, USA, 30.5-3.06.2000. (streszczenie konferencyjne)
- [41] A. Czyżewski, B. Kostek, P. Ody, **S. ZIELIŃSKI**, *Determining Influence of Visual Cues on the Perception of Surround Sound Using Soft Computing*. Banff, Canada, RSCTC 2000, Rough Sets and Current Trends in Computing, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2005, pp. 545-552, 2001.
- [42] A. Czyżewski, **S. ZIELIŃSKI**, *Dereverberation Based on the Genetic Algorithm*. 17th International Congress on Acoustics, Rome, Italy, pp. 132-133, 2-7.09.2001.
- [43] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Subjective audio quality trade-offs in consumer multichannel audio-visual delivery systems. Part I: Effects of high frequency limitation*. Presented at Audio Engineering Society 112th Convention, Paper 5562, Munich, Germany, 10-13.03.2002.
- [44] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Subjective audio quality trade-offs in consumer multichannel audio-visual delivery systems. Part II: Effects of low frequency limitation*. Presented at Audio

Engineering Society 22nd International Conference on Virtual, Synthetic and Entertainment Audio, Espoo, Finland, 15-17.06.2002.

- [45] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Comparison of quality degradation effects caused by limitation of bandwidth and by down-mix algorithms in consumer multichannel audio delivery systems*. Presented at Audio Engineering Society 114th Convention, Paper 5802, Amsterdam, Netherlands, 22-25.03.2003.
- [46] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, B. De Bruyn, R. Kassier, *Computer games and multichannel audio quality – the effect of division of attention between auditory and visual modalities*. Presented at Audio Engineering Society 24th International Conference on Multichannel Audio, Banff, Canada, 26-28.06.2003.
- [47] R. Kassier, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Computer Games and Multichannel Audio Quality Part II – Evaluation of Time-Variant Audio Degradations under Divided and Undivided Attention*. Presented at Audio Engineering Society 115th Convention, Paper 5856, New York, 10-13.10.2003.
- [48] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Kassier, S. Bech, *Quality Adviser – A Multichannel Audio Quality Expert System*. Presented at Audio Engineering Society 116th Convention, Paper 6140, Berlin, Germany, 8-11.05.2004.
- [49] P. Ward, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Can playing a computer game affect perception of audio-visual synchrony?* Presented at Audio Engineering Society 117th Convention, Paper 6224, San Francisco, CA, USA, 28-31.10.2004.
- [50] **S. ZIELIŃSKI**, J. Mayne, F. Rumsey. *Improving Intelligibility of Surround Sound Using Principal Component Decomposition*. Presented at the Reproduced Sound 21 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 27. Pt. 5. Oxford, UK, 4-5.11.2005.
- [51] M. Dewhurst, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, F. Rumsey, *Objective Assessment of Spatial Localisation Attributes of Surround-Sound Reproduction Systems*. Presented at Audio Engineering Society 118th Convention, Paper 6441, Barcelona, Hiszpania, 28-31.05.2005.
- [52] **S. ZIELIŃSKI**, *On Some Biases Encountered in Modern Listening Tests*. Proceedings of an international workshop on Spatial Audio and Sensory Evaluation Techniques, University of Surrey, Guildford, UK, 6-7.04.2006. (<http://iosr.surrey.ac.uk/projects/ias/papers/Zielinski.pdf>)
- [53] P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *The Relationship Between Selected Artifacts and Basic Audio Quality in Perceptual Audio Codecs*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6745, Paris, France, 20-23.05.2006.
- [54] S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Initial developments of an objective method for the prediction of basic audio quality for surround audio recordings*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6686, Paris, France, 20-23.05.2006.
- [55] Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Quality Degradation Effects Caused by Limiting the Bandwidth of Standard Surround Sound Channels and Hierarchically Encoded MSBTF Channels: a Comparative Study*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6685, Paris, France, 20-23.05.2006.
- [56] K. Beresford, N. Ford, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Contextual effects on sound quality judgements: listening room and automotive environments*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6648, Paris, France, 20-23.05.2006.

- [57] K. Beresford, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Listener Opinions of Novel Spatial Audio Scenes*. Presented at Audio Engineering Society 120th Convention, Paper 6687, Paris, France, 20-23.05.2006.
- [58] K. Beresford, N. Ford, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Contextual effects on sound quality judgements: Part II – multistimulus vs. single stimulus method*. Presented at Audio Engineering Society 121st Convention, Paper 6913, San Francisco, CA, USA, 5-8.10.2006.
- [59] L. Henning, Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Perceptual Importance of Karhunen-Loeve Transformed Multichannel Audio Signals*. Presented at Audio Engineering Society 121st Convention, Paper 6964, San Francisco, CA, USA, 5-8.10.2006.
- [60] Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Signal Dependent and Independent Hierarchical Encoding Techniques: a Comparative Study*, Audio Engineering Society 22nd UK conference, Cambridge, 11-12.04.2007.
- [61] P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *The Relationship between Basic Audio Quality and Selected Artefacts in Perceptual Audio Codecs – Part II – The Validation Experiment*. Presented at Audio Engineering Society 122nd Convention, Paper 7079, Vienna, Austria, 5-8.05.2007.
- [62] Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Adaptive Karhunen-Loeve Transform for Multichannel Audio*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7298, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.
- [63] **S. ZIELIŃSKI**, P. Hardisty, Ch. Hummersone, F. Rumsey, *Potential Biases in MUSHRA Listening Tests*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7179, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.
- [64] **S. ZIELIŃSKI**, P. Brooks, F. Rumsey, *On the Use of Graphic Scales in Modern Listening Tests*. Presented at Audio Engineering Society 123rd Convention, Paper 7176, New York, NY, USA, 5-8.10.2007.
- [65] Y. Jiao, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Optimal Hierarchical Bandwidth Limitation of Surround Sound*. Presented at Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7298, Amsterdam, The Netherlands, 17-20.05.2008.
- [66] S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Evaluating the sensation of envelopment arising from 5-channel surround sound recordings*. Presented at Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7382, Amsterdam, The Netherlands, 17-20.05.2008.
- [67] P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Unravelling the Relationship between Basic Audio Quality and Fidelity Attributes in Low Bit-Rate Multi-Channel Audio Codecs*. Presented at Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7335, Amsterdam, The Netherlands, 17-20.05.2008.
- [68] S. George, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Conetta, M. Dewhirst, P. Jackson, D. Meares, S. Bech, *An Unintrusive Objective Model for Predicting the Sensation of Envelopment Arising from Surround Sound Recordings*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7599, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- [69] F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, M. Dewhirst, R. Conetta, S. George, S. Bech, D. Meares, *QESTRAL (Part 1): Quality Evaluation of Spatial Transmission and Reproduction using an Artificial Listener*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7595, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.

- [70] R. Conetta, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, M. Dewhurst, S. Bech, D. Meares, S. George, *QESTRAL (Part 2): Calibrating the QESTRAL model using listening test data*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7596, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- [71] P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, D. Meares, S. Bech, S. George, *QESTRAL (Part 3): System and metrics for spatial quality prediction*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7597, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- [72] M. Dewhurst, R. Conetta, F. Rumsey, P. Jackson, **S. ZIELIŃSKI**, S. George, S. Bech, D. Meares, *QESTRAL (Part 4): Test signals, combining metrics and the prediction of overall spatial quality*. Presented at Audio Engineering Society 125th Convention, Paper 7598, San Francisco, USA, 2-5.10.2008.
- [73] P. Marins, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, *Uncovering the Multidimensional Perceptual Space of Low Bit-Rate Multi-Channel Audio Codecs*. Presented at the Reproduced Sound 24 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 30. Pt. 6. pp. 297-305, Brighton, UK, 20-21.11.2008.
- [74] R. Conetta, M. Dewhurst, F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, S. Bech, D. Meares, S. George, *Calibration of the QESTRAL Model for the Prediction of Spatial Quality*. Presented at the Reproduced Sound 24 Conference. Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 30. Pt. 6., pp. 281-290, Brighton, UK, 20-21.11.2008.
- [75] P. Jackson, M. Dewhurst, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, R. Conetta, D. Meares, S. Bech, Prediction of spatial perceptual attributes of reproduced sound across the listening area. Presented at Acoustics 2008, J. Acoust. Soc. Amer., No. 5, Vol. 123, p. 2979, Paryż, 29.06-4.07.2008. (*streszczenie konferencyjne*)
- [76] F. Rumsey, **S. ZIELIŃSKI**, P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, S. Bech, D. Meares, *Measuring perceived spatial quality changes in surround sound reproduction*. Presented at Acoustics 2008, J. Acoust. Soc. Amer., No. 5, Vol. 123, p. 2980, Paryż, 29.06-4.07.2008. (*streszczenie konferencyjne*)
- [77] W. Evans, J. Dyreby, S. Bech, **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, *Effects of loudspeaker directivity on perceived sound quality – a review of existing studies*. Presented at Audio Engineering Society 126th Convention, Paper 7745, Munich, Germany, 7-10.05.2009.
- [78] P. Jackson, M. Dewhurst, R. Conetta, **S. ZIELIŃSKI**, *Estimates of perceived spatial quality across the listening area*. Presented at the Audio Engineering Society 38th International Conference, pp. 233-242, Pitea, Sweden, 13-15.06.2010.
- [79] **S. ZIELIŃSKI**, F. Rumsey, S. Bech, *Towards Unification of Methods for Speech, Audio, Picture and Multimedia Quality Assessment*. Presented at Audio Engineering Society 138th Convention, Paper 9308, Warsaw, Poland, 7-10.05.2015.