

LIV Otwarte Seminarium z Akustyki

54th Open Seminar on Acoustics

Redaktor • Editor

Wojciech P. Rdzanek

Rzeszów-Przemyśl, 10–14.09.2007

Organizatorzy • Organizers

Polskie Towarzystwo Akustyczne, Oddział w Rzeszowie
Instytut Fizyki, Instytut Techniki, Uniwersytet Rzeszowski
Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk

Dofinansowanie • Partial Funding

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Komitet Naukowy • Scientific Committee

Przewodniczący: Prof. dr hab. Witold Rdzanek

Prof. dr hab. inż. Jan Adamczyk	Prof. dr hab. Mikołaj Łabowski
Doc. dr inż. Danuta Augustyńska	Prof. dr inż. Wojciech Majewski
Prof. dr hab. inż. Wojciech Batko	Prof. dr hab. Rufin Makarewicz
Prof. dr hab. inż. Jarosław Bobitski	Prof. dr hab. Andrzej Nowicki
Doc. dr inż. Gustaw Budzyński	Prof. dr hab. Aleksander Opilski
Prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki	Prof. dr hab. inż. Ryszard Panuszka
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Engel	Prof. dr hab. inż. Tadeusz Powałowski
Prof. dr hab. inż. Andrzej Gołaś	Prof. dr hab. Anna Preis
Dr hab.inż. Grażyna Grelowska, prof.AMW	Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pustelny
Prof. dr hab. Edward Hojan	Prof. dr hab. Andrzej Rakowski
Prof. dr hab. inż. Janusz Kowal	Prof. dr hab. inż. Jerzy Sadowski
Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Kozaczka	Doc. dr inż. Marianna Sankiewicz
Prof. dr hab. Bogumił Linde	Prof. dr hab. Antoni Śliwiński
Prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan	Prof. dr hab. Zbigniew Wesółowski

Komitet Organizacyjny • Organizing Committee

Przewodniczący: Dr hab. inż. Lucyna Leniowska, prof. UR
Wiceprzewodniczący: Dr hab. inż. Wojciech P. Rdzanek, prof. UR
Pełnomocnik ds Konkursu im. M. Kwieka: Dr hab. inż. Adam Brański, prof. PRz
Dr hab. Henryka Czyż, prof. PRz ◊ Dr Anna Snakowska ◊ Dr Tomasz Zamorski
Sekretarz: Mgr Krzysztof Szemela ◊ Skarbnik: Mgr Anna Różycka
Mgr inż. Andrzej Leśniak ◊ Mgr inż. Paweł Kos

Projekt okładki: Dr hab. inż. Lucyna Leniowska, prof. UR

Druk: Spidruk, Al. Rejtana 9, 35-326 Rzeszów

ISBN 83-914391-0-1

Rzeszów-Przemyśl, 10–14.09.2007

Spis treści • Contents

Słowo wstępne	10
Preface	11

Referaty zaproszone • Invited Lectures

J. Cieřlik: <i>Bilans energii drganiowej przenoszonej w połączeniach płyt • Vibration energy balance transmitted in joints of plates</i>	14
M. Łabowski: <i>Ultradźwiękowe badania ośrodków ciekłych prowadzone w Zakładzie Akustyki Molekularnej Instytutu Akustyki UAM • Scientific activity in the field of ultrasonics in the Molecular Acoustic Division of the Institute of Acoustics, Adam Mickiewicz University</i>	18
A. Rakowski: <i>Słuch absolutny i określanie jego dokładności • Absolute pitch: The accuracy of performance</i>	20
W.P. Rdzanek: <i>Aktualne obszary badań prowadzonych w rzeszowskim środowisku akustyków • Current investigation areas in the Rzeszów centre of acoustics</i>	24
W. Pustelny: <i>The acoustoelectric method of surface electron parameters determination in semiconductors</i>	33

Ogólna akustyka liniowa • General Linear Acoustics

P. Kos, L. Leniowska: <i>Wpływ korekcji fazy na impedancję akustyczną płaskich kołowych źródeł dźwięku • Influence of phase correction on the acoustic impedance of circular planar sources</i>	36
W.P. Rdzanek, W.J. Rdzanek, A. Różycka: <i>Funkcja Greena zagadnienia brzegowego Neumanna układu walca półnieskończonego i płaskiej nieskończonej odgrody • The Green function for the Neumann boundary value problem at the semiinfinite cylinder and the flat infinite baffle</i>	38
W.P. Rdzanek, K. Szemela, D. Pieczonka: <i>Cięnienie dźwięku promieniowane w polu dalekim przez kołowy tłok umieszczony w pobliżu naroża dwuściennego i trójściennego • The sound pressure radiated into the far field by a circular piston located in the vicinity of the two-wall corner and the three-wall corner</i>	40
J. Skrzypczyk: <i>Metody perturbacyjne II rzędu w akustyce – nowa metodologia algebraiczna • II-order perturbation methods in acoustics – new algebraic methodology</i>	42
J. Skrzypczyk, A. Winkler-Skalna: <i>Propagacja fal akustycznych w ośrodku warstwowym: nowa metoda perturbacji II rzędu • Acoustic waves propagation problems in layered medium: the new II-order perturbation approach</i>	44
A. Snakowska: <i>Spójny opis propagacji fal akustycznych i elektromagnetycznych w falowodach • Unified description of sound and electromagnetic waves in ducts</i>	46
J. Mężyk: <i>Symulacja komputerowa metod prowadzenia pomiarów akustycznych w symulowanym polu swobodnym • Computer simulation of acoustic measurements methods in simulated free field</i>	48

Akustyka nieliniowa • Nonlinear Acoustics

- A. Baranowska: Wytwarzanie harmonicznych w zależności od rozkładu ciśnienia fali pierwotnej • Dependence of harmonic generation on primary wave pressure distribution 50
- A. Perelomova: Ruch wirowy wywołany przez falę akustyczną nieokresową w płynie • Acoustic streaming induced by the non-periodic sound in a viscous medium 52
- T. Zamorski: Fale o skończonej amplitudzie w tubach akustycznych • Waves with finite amplitude in acoustic horns 54

Ultradźwięki, akustyka kwantowa, fizyczne oddziaływanie dźwięku • Ultrasonics, Quantum Acoustics and Physical Effect of Sound

- M. Aleksiejuk: Częstotliwości akustycznych modów zlokalizowanych w zależności od stosunku składowych w nanowarstwach Au/V • Frequencies of localized acoustic modes in dependence on mutual relation of components of Au/V nanolayers 58
- M. Aleksiejuk, F. Rejmund: Prędkość fal akustycznych w nanowarstwach Ag/Fe • Acoustic wave velocity in Ag/Fe nanolayers 60
- A. Balcerzak, G. Zhavnerko: Ultradźwiękowy czujnik chemiczny do wykrywania par węglowodorów alifatycznych i aromatycznych w powietrzu • Ultrasonic chemical sensor for detection of vapors of aliphatic and aromatic hydrocarbons in air 62
- M. Czerwiec, R. Zachariasz, J. Ilczuk: Ferroelektryczna ceramika typu $Pb(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3$ jako materiał dla elektroakustyki • $Pb(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O_3$ ferroelectric ceramics as a material for electroacoustics 64
- M. Czerwiec, R. Zachariasz, J. Ilczuk: Ferroelektryczna ceramika typu PLZT jako materiał na przetworniki • The ferroelectric PLZT type ceramics as a material for transducers 66
- M. Dukat, A. Zarycka: Właściwości dielektryczne i piezoelektryczne ceramiki PZT otrzymanej metodą zol-żel • Dielectric and piezoelectric properties of PZT type ceramics obtained by the sol-gel 68
- K. Dynowski, J. Litniewski, A. Nowicki: Obrazowanie trójwymiarowe w mikroskopii ultradźwiękowej • Three-dimensional imaging in ultrasonic microscopy 70
- A. Józefczak: Ultradźwiękowe własności jonowej ferrocieczy o niskiej koncentracji • Ultrasonic characterization of low concentrated ionic ferrofluid 72
- Z. Klimonda, A. Nowicki: Obrazowanie ultrasonograficzne z wykorzystaniem częstotliwości średniej ech • Imaging of the mean frequency of the ultrasonic echoes 74
- M. Lewandowski, A. Nowicki: Uniwersalny system ultrasonografii kodowanej z przetwarzaniem softwarowym • Universal coded ultrasound imaging system with software processing 76
- A. Pawełek, J. Kuśnierz, J. Bogucka, Z. Ranachowski: Emisja akustyczna i efekt Portevin-Le Châtelier w próbie rozciągania stopów Al przetworzonych za pomocą techniki ARB • Acoustic emission and the Portevin–Le Châtelier effect in tensile tested Al alloys processed by ARB technique 78
- A. Pawełek, A. Piątkowski, J. Kuśnierz, J. Bogucka, Z. Ranachowski, J. Mizera, Z. Jasiński, S. Kúdela, S. Kúdela, Jr.: Emisja akustyczna w ściskanych stopach Mg-Li oraz stopach Al przetworzonych metodami ECAP, HPT i ARB • Acoustic emission in compressed Mg-Li and Al alloys processed by ECAP, HPT and ARB methods 80

P. Ranachowski, F. Rejmund, A. Pawełek, A. Piątkowski: <i>Mechaniczno-akustyczne oraz mikroskopowe badania właściwości tworzywa korundowego • Acoustic-mechanical and microscopic investigation of corundum material</i>	82
P. Regulska, A. Skumiel, T. Hornowski, A. Józefczak: <i>Anizotropia propagacji fali ultradźwiękowej w cieczy magnetycznej APG-832 • Anisotropy of ultrasound attenuation in APG-832 magnetic liquid</i>	84
I. Trots, A. Nowicki, W. Secomski, R. Tymkiewicz: <i>Wpływ szerokości pasma przenoszenia przetwornika ultradźwiękowego na komplementarne kody Golaya • The influence of the transducer bandwidth on the efficient Golay codes compression</i> . . .	86

Akustyka biomedyczna • Biomedical Acoustics

C. Kasprzak: <i>Oddziaływanie fal akustycznych niskiej częstotliwości na poziom aktywacji • The effects of low-frequency noise on the levels of activation</i>	90
W. Michalski, W. Dziewiszek, M. Bochnia: <i>Zastosowanie detekcji fazoczułej do pomiaru sygnałów DPOAE • Use of double-phase sensitive detection to measure DPOAE signals</i>	92
H. Gawda, A. Młynek: <i>Zmiany parametrów akustycznych zębów pod wpływem Coca-Coli • The Changes of Acoustic Parameters for Teeth Under of Influence of Coca-Cola</i> 94	94
T. Gudra, S. Muc: <i>Wstępna analiza możliwości kompensacji wad techniki laserowej i ultradźwiękowej w chirurgii • A preliminary analysis of possibilities of compensating for the faults of laser technology and ultrasonic technology in surgery</i> . . .	96
T. Powałowski, J. Wójcik, Z. Trawiński: <i>Modelowanie badań grubości ściany tętnicy • Modeling of artery wall thickness examinations</i>	98
Z. Trawiński, T. Powałowski, P. Gutkiewicz: <i>Ultradźwiękowe badania IMT ściany tętnicy szyjnej wspólnej • Ultrasonic examinations of imt in common carotid artery wall</i>	100
W. Wszolek, M. Kłaczyński, Z. Engel: <i>Wyznaczanie tonu podstawowego drgań fałdów głosowych metodą akustyczna i elektrolottograficzna • The acoustic and electroglottographic methods of determination the vocal folds vibration fundamental frequency</i>	102
W. Wszolek, M. Modrzejewski, M. Przysiężny: <i>Analiza akustyczna mowy przełykowej u chorych po całkowitym usunięciu krtani • Acoustic analysis of esophageal speech in patients after total laryngectomy</i>	104

Akusto-optyka • Acoustooptics

I. Grulkowski: <i>Oddziaływanie akustooptyczne z wykorzystaniem cylindrycznych fal we wnęce rezonatora laserowego • Acousto-optic interaction with the use of cylindrical ultrasonic waves in the laser cavity</i>	106
M. Szmechta, D. Zmarzły, T. Boczar: <i>Analiza właściwości transformatorowych olejów izolacyjnych z wykorzystaniem zjawisk optyczno-akustycznych • The analysis of transformer insulation oil properties using optoacoustic phenomena</i>	108
O. Mokryy, J. Bobitski: <i>Photoacoustical method of research of physical properties of a thin liquid film on solid surface (numerical modeling)</i>	110

Akustyka mowy • Speech Acoustics

S. Brachmański: <i>Automatyzacja pomiarów wyrazistości logatomowej w pomieszczeniach • Automation of the logatom intelligibility measurements in rooms</i>	112
J. Dulas: <i>Identyfikacja fonemów nie posiadających okres podstawowy tonu krztaniowego • Identification of the phonemes don't consist basic periods</i>	114
J. Dulas: <i>Identyfikacja fonemów posiadających okres podstawowy tonu krztaniowego • Identification of the phonemes consist basic periods</i>	116
M. Jaskuła, H. Perużyńska: <i>Detekcja i usuwanie mlasków z nagrań lektorskich • Detection and removal of 'smacking' noise from lector speech records</i>	118
E. Ozimek, D. Kutzner, A. Sęk, A. Wicher: <i>Opracowanie polskiego testu trypletowego zrozumiałości mowy i jego wstępna weryfikacja • Polish Digit Triplet test for auditory screening: development and initial evaluation</i>	120
G. Pyda: <i>Śpiew gardłowy jako przykład niekonwencjonalnego wykorzystania traktu głosowego człowieka • Throat singing — example of unconventional use of human vocal tract</i>	122
P. Staroniewicz: <i>Badania odporności opartego o GMM systemu weryfikacji głosu na zniekształcenia transmisji VoIP • Tests of robustness of GMM speaker verification in VoIP telephony</i>	124
J. Warchoł, H. Gawda, H. Trębacz: <i>Akustyczne badania osób z zaburzeniami fonacji • Acoustic investigation of persons with phonation disorders</i>	126
W. Majewski: <i>Comparison of subjective and objective speaker recognition under voice disguise conditions</i>	128

Akustyka muzyczna • Musical Acoustics

S. Makomaska: <i>Szczególne przypadki słuchu absolutnego • Case studies on Absolute Pitch</i>	130
A. Miśkiewicz: <i>Szorstkość i dysonansowość jako cechy brzmienia dźwięków muzycznych • Perceived attributes of musical tones: roughness and dissonance</i>	132
A. Rakowski, P. Rogowski: <i>Krótkotrwała pamięć wysokości dźwięku u muzyków posiadających słuch absolutny • Short-term auditory memory in musicians with absolute pitch</i>	134
P. Rogowski, E. Aranowska: <i>Aktywność muzyczna a spoczynkowe progi słyszenia kandydatów na Wydział Reżyserii Dźwięku • Musical activity and hearing thresholds in applicants to the Department of Sound Engineering</i>	136
P. Wrzeciono: <i>Metoda wykrywania modu C4 skrzypiec w widmie energetycznym gam chromatycznych • A method of detecting the C4 violin mode in the energy spectra of chromatic scales</i>	138
P. Żwan, B. Kostek: <i>A system for singing training</i>	140

Akustyka pomieszczeń • Room Acoustics

A. Błażejowski, T. Krzyżyński: <i>Dobór optymalnej wartości współczynnika pochłaniania oraz rozmieszczenia materiału na brzegach pomieszczenia zamkniętego • Optimal value of an absorption coefficient selection and material distribution on the room's boundaries</i>	144
--	-----

W. Ciesielka: <i>Aktywne sterowanie dźwiękiem przy pomocy cyfrowego korektora odwrotnego • Digital inverse equalizer assisted active sound control</i>	146
M. Meissner: <i>Analiza niwykładniczego zaniku dźwięku w pomieszczeniu złożonym z dwóch połączonych ze sobą pomieszczeń prostokątnych • Analysis of non-exponential sound decay in an enclosure composed of two connected rectangular subrooms</i>	148
J. Piechowicz: <i>Pole akustyczne w pomieszczeniu przemysłowym • Acoustic field in an industrial hall</i>	150
M. Plewa: <i>Analiza pola akustycznego w kościele oo. Dominikanów w Krakowie • Analysis of sound field in Dominicans' church in Cracow</i>	152

Akustyka strukturalna • Structural Acoustics

W. Bochniak, J. Cieślak: <i>Wpływ rodzaju połączenia na sposób przenoszenia energii drganiowej • Influence of connection type on the way of vibrational energy transmission</i>	156
R. Leniowski: <i>Modelowanie drgań skrętnych przekładni harmoniczej • Modeling of torsional vibration in harmonic drives</i>	158
K. Mech: <i>Zastosowanie sondy natężeniowej Microflown w pomiarach izolacyjności akustycznej • Application a sound intensity probe Microflown in the acoustic insulation measurements</i>	160

Hałas, jego skutki i zwalczanie • Noise, its Effects and Control

W. Batko, R. Bał-Pyrzcz: <i>Wybrane problemy estymacji stochastycznych zagrożeń akustycznych środowiska • Analysis of stochastic acoustical hazards in environment</i> 164	164
W. Batko, B. Borkowski, K. Głocki, M. Dzierko, D. Kapustka, M. Stoliński: <i>Integralny system sterowania i kontroli urządzeń pomiarowych wartości akustycznych i pozaakustycznych • Integrated control system for acoustic and non-acoustic data measurement devices</i>	166
W. Batko, J. Felis, A. Flach, T. Giesko, T. Kamisiński, A. Zbrowski: <i>Koncepcja układu wykonawczego dla pozycjonowania elementów systemu pomiarowego w komorze bezchowej • A concept of an actuator for positioning of elements of a measurement system in an anechoic chamber</i>	168
A. Brański, S. Szela: <i>Ocena aktywnej redukcji drgań płyty poprzez parametr pola akustycznego • Evaluation of the active plate vibration reduction via the parameter of the acoustic field</i>	170
K. Głocki: <i>Rozkład pola akustycznego w obrębie PKE Elektrownia Siersza w Trzebinii • Acoustic field layout in the area of PKE Siersza Electric Plant in Trzebinia</i> .	172
E. Kozłowski, E. Kotarbińska: <i>Ocena narażenia na hałas impulsowy policjantów stosujących nauszники przeciwhałasowe podczas strzelania na strzelnicy • Assessment of exposure to impulsive noise of policemen who worn ear-muffs at rifle-range</i> 174	174
W. Łapka, Cz. Cempel: <i>Akustyczna skuteczność tłumika absorpcyjnego z kanałem spiralnym na wlocie • Acoustic attenuation performance of round silencer with spiral duct on the inlet</i>	176

W. Mikulski: <i>Tłumienie hałasu drogowego przez zewnętrzne ściany budynków biurowych • The road traffic noise attenuation by external wall of office building in standard work condition</i>	178
R. Młyński, J. Żera: <i>Wpływ metody pomiaru na przebieg charakterystyki przenoszenia nauszniaka przeciwhałasowego • Effect of measurement method on an earmuff's frequency response</i>	180
E. Nowicka: <i>Właściwości akustyczne lekkich układów warstwowych • The acoustic properties of the lightweight sandwich structures</i>	182
M. Pawełczyk: <i>Dwuetapowy wielokanałowy bazujący na filtrze Wienera system aktywnej redukcji hałasu z mikrofonami wirtualnymi i sprzężeniem zwrotnym • A two-stage wiener filter based multi-channel feedback virtual microphone acoustic noise reducing system</i>	184
J. Sikora, J. Turkiewicz: <i>Badania własności dźwiękochłonnych wybranych materiałów ziarnistych • Investigations of Sound Absorbing Properties of Selected Granular Materials</i>	186
B. Smagowska, W. Mikulski: <i>Metoda wstępnej identyfikacji hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy • Method of the preliminary identification of ultrasonic noise at workstations</i>	188
L. Stryczniewicz: <i>Zastosowanie metody inwersji w ocenie emisji hałasu z zakładów przemysłowych • Application of the inverse method in the estimation of noise emission from industrial plants</i>	190
K. Uzar: <i>Algorytmy odszumiania sygnałów akustycznych • The algorithms of acoustic signals filtering</i>	192
M. Weryk: <i>Statystyczna analiza pomiaru hałasów dla serii statków ro-ro • Statistical analysis of a noise measurements for the series of ro-ro ships</i>	194
J. Wierzbicki: <i>Dokładność map akustycznych • Accuracy of Noise Maps</i>	196
T. Wszolek: <i>Niepewność pomiaru hałasu przemysłowego w dalszej odległości od źródła • Uncertainty of industrial noise measurement at distant locations from the source</i>	198
T. Wszolek: <i>Niepewność w badaniach laboratoryjnych izolacyjności akustycznej przegród • Uncertainty of sound insulation measurement in laboratory conditions</i> .	200
J. Wiciak: <i>Modelling of vibration and noise control of a submerged circular plate</i> .	202

Elektroakustyka • Electroacoustics

S. Borucki, T. Boczar, A. Cichoń: <i>Badanie rozkładu poziomego ciśnienia akustycznego występującego wokół napowietrznej stacji elektroenergetycznej sąsiadującej z budynkami mieszkalnymi • Investigation of the acoustic pressure distribution occurring around an aerial substation adjacent to apartment buildings</i>	204
A. Cichoń, T. Boczar, S. Borucki: <i>Analiza porównawcza sygnałów EA generowanej przez wyładowania niezupełne jedno i wieloźródłowe • Comparative analysis of the AE signals generated by partial single- and multi-source discharges</i>	206
G. Wszolek, W. Barwicz: <i>Porównawcze wzorcowania w polu swobodnym mikrofonów pomiarowych • Comparative calibrations – in a free field – of measuring microphone</i>	208

Hydroakustyka • Hydroacoustics

- A. Elminowicz, L. Zajęczkowski: *Modelowanie rozpraszania sygnałów wąsko i szerokopasmowych za pomocą losowo rozmieszczonych punktów rozpraszających • Modeling of narrow and wideband signals scattering by randomly distributed scattering points* 212
- S. Jastrzębski: *Zastosowanie akustycznych metod odwrotnych w środowisku wodnym • Application of time reversal technique in shallow water environment* 214
- A. Raganowicz, L. Kilian, J. Marszał, Z. Ostrowski, A. Schmidt, K. Zachariasz: *Formy zobrażeń w sonarze dalekiego zasięgu z cylindryczną anteną • Visualisation Forms in Long Range Sonar with Cylindrical Transducer Array* 216

Psychoakustyka • Psychoacoustics

- S. Drgas, M.A. Błaszak: *Badanie percepcji sygnału mowy zniekształconej przez wokoder i charakterystykę pogłosową pomieszczenia • Perceptual consequences of change in vocoded speech parameters for various reverberation conditions* 220
- D.J. Kutzner: *Wpływ statystycznych oraz strukturalnych własności sygnału zakłócającego na maskowanie modulacji amplitudowej • Modulation masking phenomenon for masking signals of different statistical and spectral properties* 222
- P. Libiszewski, J. Kociński: *Efektywność ślepej separacji sygnałów w rzeczywistym pomieszczeniu • Efficiency of blind source separation in a real room* 224
- P. Plaskota: *Akustyczny model głowy do numerycznego wyznaczenia HRTF • Acoustical model of the head for HRTF calculation* 226
- M. Ruszczyński, A. Sęk: *Implementacja szybkiej metody wyznaczenia psychofizycznych krzywych strojenia (FAST-PTC) na komputerze klasy PC • Implementation of the FAST-PTC measurement method on a PC platform* 228
- A. Sęk: *Psychofizyczne krzywe strojenia jako narzędzie do diagnozowania martwych obszarów w ślimaku ucha wewnętrznego • Psychophysical tuning curves as a tool for dead region diagnosis* 230

Indeks Autorów • Author Index

- Indeks Autorów • Author Index 234

Słowo wstępne

Otwarte Seminarium z Akustyki to największa polska konferencja akustyczna organizowana przez *Polskie Towarzystwo Akustyczne* oraz *Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk*. Konferencja ta odbywa się corocznie od pięćdziesięciu czterech lat, aby umożliwić przedstawicielom dziedziny akustyki wymianę poglądów, doświadczeń i wyników badań naukowych.

Zaszczyt organizacji *54-tego Otwartego Seminarium z Akustyki* przypadł tym razem członkom *Rzeszowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Akustycznego*.

Niniejsza publikacja stanowi zbiór streszczeń prac naukowych nadesłanych przez autorów (głównie w języku polskim), które zostaną przedstawione na Seminarium. Wszystkie pozytywnie zrecenzowane prace zostaną opublikowane na łamach renomowanego czasopiisma *Archives of Acoustics*. Załączona płyta CD-ROM zawiera streszczenia referatów w języku polskim oraz nierecenzowane artykuły w języku angielskim.

Autorzy nadesłali 96 artykułów, w tym 5 plenarnych oraz 91 sekcyjnych podzielonych na 13 sekcji tematycznych:

- Ogólna akustyka liniowa (7),
- Akustyka nieliniowa (3),
- Ultradźwięki, akustyka kwantowa, fizyczne oddziaływanie dźwięku (15),
- Akustyka biomedyczna (8),
- Akusto-optyka (3),
- Akustyka mowy (9),
- Akustyka muzyczna (6),
- Akustyka pomieszczeń (5),
- Akustyka strukturalna (3),
- Hałas, jego skutki i zwalczanie (20),
- Elektroakustyka (3),
- Hydroakustyka (3),
- Psychoakustyka (6).

Organizatorzy konferencji *54 Otwarte Seminarium z Akustyki OSA 2007* życzą wszystkim uczestnikom udanych wystąpień, owocnych obrad oraz miłych i niezapomnianych wrażeń z uroczych zakątków Polski południowo-wschodniej oraz z Przemyśla.

Komitet Organizacyjny *OSA 2007*

Preface

The Open Seminar on Acoustics is the greatest Polish conference on acoustics organized by *the Polish Acoustical Society* and *the Committee on Acoustics, the Polish Academy of Sciences*. For the last fifty three years, this conference has been the great place to exchange views, experiences and results of the scientific research.

This time the members of *the Rzeszów Department of The Polish Acoustic Society* are honoured to organize *the 54th Open Seminar on Acoustics*.

This publication consists of the abstracts of the scientific research (2 pages mainly in Polish) which will be presented at the Seminar. All positively reviewed papers will be published on the pages of the prestigious magazine *Archives of Acoustics*. The enclosed plate contains *the CD-ROM* of the abstracts in Polish and not-reviewed papers in English.

Authors have sent 96 lectures, including 5 plenary lectures and 91 contributed lectures. They are divided into 13 thematic sections:

- General Linear Acoustics (7),
- Nonlinear Acoustics (3),
- Ultrasonics, Quantum Acoustics and Physical Effect of Sound (15),
- Biomedical Acoustics (8),
- Acoustooptics (3),
- Speech Acoustics (9),
- Musical Acoustics (6),
- Room Acoustics (5),
- Structural Acoustics (3),
- Noise, its Effects and Control (20),
- Electroacoustics (3),
- Hydroacoustics (3),
- Psychoacoustics (6).

The organizers of *the 54th Open Seminar on Acoustics OSA 2007* would like to wish to all the participants successful pronouncements, productive debates as well as unforgettable impressions from the charming nooks of south-east Poland and from the city of Przemyśl.

Organizing Committee *OSA 2007*

REFERATY ZAPROSZONE



INVITED LECTURES

Bilans energii drganiowej przenoszonej w połączeniach płyt

Vibration energy balance transmitted in joints of plates

Jacek Cieślik

*Katedra Robotyki i Mechatroniki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: cieslik@agh.edu.pl*

1. Wprowadzenie

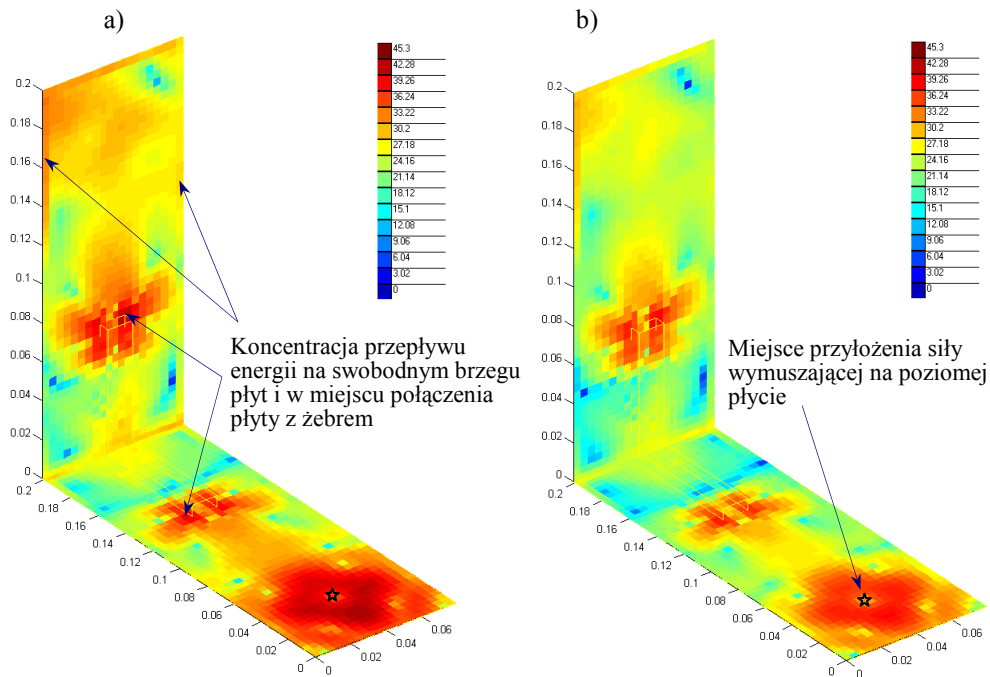
Konstrukcje pojazdów poddawane są działaniu zewnętrznych obciążeń dynamicznych o złożonej charakterystyce częstotliwości sił wymuszających. Elementy płytowe i belkowe są najczęściej stosowanymi elementami w konstrukcjach pojazdów i zniszczenie ich połączeń powoduje zwykle zniszczenie całej konstrukcji pojazdu. Metoda wyznaczania natężenia dźwięków strukturalnych została oparta na analizie modalnej struktur mechanicznych wyznaczanej z kolei z zastosowaniem metody elementów skończonych. Prezentowane w pracy wyniki obliczeń przedstawiają rozkład wektorowego pola natężenia dźwięków strukturalnych na powierzchni płyt prostokątnych przy zastosowaniu różnych typów połączeń. Przyjęte do obliczeń modele płyt zawierają okresowo zmienne siły wymuszające i elementy rozpraszające energię. Zmiana gęstości siatki elementów skończonych w określonych obszarach umożliwia dokładną analizę przepływu energii w połączeniach płyt. Analizowane w pracy zagadnienie sposobu przenoszenia energii miało na celu między innymi wykazanie przydatności parametru oceny jakim jest natężenie dźwięków strukturalnych do diagnostyki połączeń, szczególnie tych stosowanych w konstrukcjach pojazdów. Otrzymane wyniki modelowania numerycznego dają ilościową informację o wielkości energii przenoszonej, odbitej i tłumionej w analizowanym połączeniu. Wyniki obliczeń zostały częściowo zweryfikowane doświadczalnie przez zastosowanie wibrometrii laserowej (skaningowy wibrometr laserowy) oraz termografii w podezwierwieni zastosowanej w tym przypadku jako optyczna bezdotykowa metoda pomiaru naprężeń powierzchniowych.

2. Model połączonych płyt prostokątnych

Struktura złożona z dwóch płyt prostokątnych o jednakowych wymiarach z centralnie umieszczonym żeblem została wybrana jako przykład połączenia. Płyty wykonane ze stali konstrukcyjnej były zespawane wzdłuż krótszej krawędzi. Ich wymiary były równe $0.2 \times 0.07 \times 0.001$ m. Przyjęto następujące własności materiałowe: współczynnik Poissona $\nu = 0,3$ moduł Younga $E = 2,11 \cdot 10^{11}$ Pa, i gęstość $\rho = 7860$ kg/m³. Płyta pozioma została zamocowana w miejscu oznaczonym gwiazdką do śruby mocującej wkręczonej do głowicy wzbudnika drgań. Wszystkie pozostałe krawędzie płyt były swobodne (Rys. 1.).

Zasadniczym celem badań było wyznaczenie rozkładu pola wektorowego natężenia dźwięków strukturalnych w obszarze bliskim połączeniom. Obliczenia natężenia dźwięków strukturalnych wykonano dla pierwszych 100 postaci drgań układu połączonych płyt.

Model liniowego połączenia spawanego zakładał umocnienie materiału w miejscu spawu. Dodatkowe wzmocnienie w postaci centralnie umieszczonego żebra zamodelowano prostopadle do krawędzi połączenia płyt. Przyjęto wymuszenie w postaci siły sinusoidalnie zmiennej o amplitudzie równej 10 N i częstotliwości zmienianej w zakresie 5 do 100 Hz. Założono, że istnieje oddziaływanie z otaczającym ośrodkiem i w modelu obliczeniowym przyjęto małe siły tłumiące zamocowane w węzłach siatki elementów skończonych w celu uwzględnienia rozproszenia energii w otaczającym ośrodku. Obliczenia metodą elementów skończonych oraz analizy modalnej prowadzono środowisku obliczeniowym NASTRAN i z wykorzystaniem własnego autorskiego programu. Wizualizację wyników wykonano w środowisku Matlab. Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na Rys. 1.



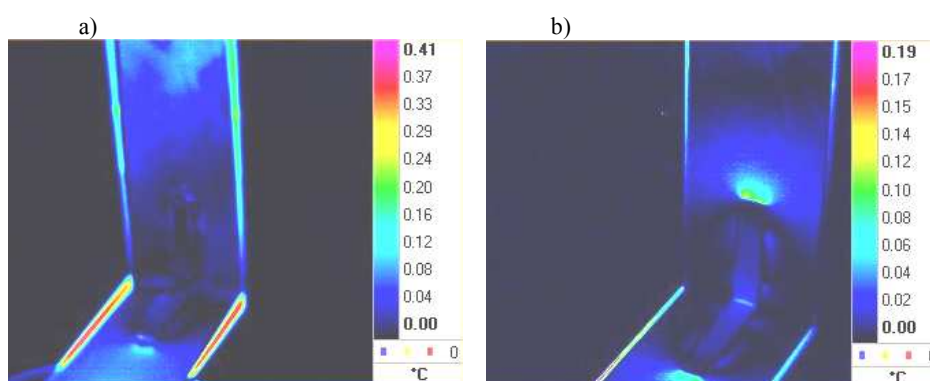
Rys. 1. Rozkład pola natężenia dźwięków strukturalnych na powierzchni dwóch spawanych płyt prostokątnych – wyniki obliczeń numerycznych, dB. Częstotliwość wymuszenia: a) 37,5Hz, b) 50 Hz

3. Bezdotykowy pomiar naprężeń

W celu weryfikacji wyników obliczeń numerycznych zastosowano kamerę termograficzną do bezdotykowej wizualizacji pola naprężeń na powierzchni materiałów i struktur. Kamera wyposażona w matrycę o wysokiej czułości optycznej w zakresie podczerwieni i system cyfrowego przetwarzania obrazu Altair LI wykonuje w czasie rzeczywistym wysokiej jakości obrazy pola naprężeń na powierzchni obiektu obserwacji. Działanie kamery oparte jest na wykorzystaniu zjawiska termospřężystego, które polega na liniowej zależności pomiędzy zmianami temperatury powodowanymi zmiennym obciążeniem struktury a naprężeniami na powierzchni obiektu obserwacji. Rozdzielczość temperatury wymagana do uzyskania pomiaru z dokładnością do 1 MPa zależy od własności materiałowych badanego obiektu. Dla stali wynosi około 1mK.



Rys.2. Kamera termowizyjna do bezdotykowego pomiaru naprężeń na powierzchni płyt.



Rys. 3. Pole temperatur dla dwóch prostokątnych płyt z żebrem (połączenia spawane). Częstotliwość wymuszenia: a) 12,8Hz, b) 54,72Hz

4. Wnioski

Wyniki szczegółowej analizy sposobu przenoszenia energii drganiowej przedstawiono na Rys. 1. w formie rozkładu wartości wektora natężenia dźwięków strukturalnych na powierzchni badanej struktury. Wyraźnie widoczne są specyficzne zaburzenia rozkładu w strefach połączenia z elementem usztywniającym i miejsca przyłożenia siły wymuszającej. W miejscach dalekich od połączeń lub wymuszenia wartości wektorów mają zbliżone wartości. Oznacza to stały regularny przepływ energii drganiowej w kierunku określonym przez zwrot wektorów. W niektórych miejscach zwłaszcza w pobliżu niejednorodności struktury np. zmiany grubości elementu można zaobserwować wirowe pole wektorów. Obszary te można uznać za miejsca magazynowania energii w systemie. Wektorowe pole natężenia dźwięków strukturalnych dla danej struktury w znakomity sposób obrazuje miejsca generowania, magazynowania i rozproszenia energii

drganiowej. Stanowi to znaczącą zaletę tej metody w stosunku do innych jednoparametrowych metod oceny i metod identyfikacyjnych.

Niedogodnością metody jest jej słaba zbieżność numeryczna. Liczba postaci drgań, którą należy uwzględnić w obliczeniach powinna być odpowiednio dobrana do zakresu analizy i stosunkowo duża - zwykle od 60 do 100 postaci drgań. Przy czym częstość drgań najwyższej postaci powinna być kilka razy (zwykle 3 lub więcej) większa od analizowanej częstości wymuszenia. Stanowi to główny czynnik wpływający na dokładność obliczeń. W obliczeniach przyjmuje się jednakowe wielkości elementów skończonych, co w przypadku gwałtownej zmiany przekroju lub grubości struktury powoduje błędy w postaci występowania znacznie zawyżonych wartości naprężeń. Natężenie dźwięków strukturalnych z definicji jest iloczynem naprężenia i prędkości drgań elementu struktury odniesionym do płaszczyzny lub linii nieodkształconej.

Rozkład wektorów natężenia dźwięków strukturalnych daje możliwość jakościowej oceny przepływu energii drganiowej. Ilościowa ocena może być przeprowadzona poprzez zsumowanie wartości natężenia dźwięków strukturalnych w określonym przekroju, która to wartość jest proporcjonalna do wartości energii przepływającej przez ten przekrój struktury.

Pomiarowa weryfikacja obliczeń jest trudna ze względu na wymaganie równoczesnego wyznaczenia wartości naprężenia i prędkości drgań dla elementu struktury. Inne metody przybliżone bazujące na zależnościach naprężenia od odkształceń wymagają równoczesnego wyznaczenia odkształceń i szeregu ich pochodnych. Bardzo obiecujące wyniki dają metody optyczne. Przedstawiona w pracy bezdotykowa optyczna metoda pomiaru naprężeń w połączeniu z wibrometrią laserową wydaje się być właściwym rozwiązaniem. Rezultaty pomiarów przedstawione na Rys. 3 wskazują na zgodność z obliczeniami w obszarze swobodnej krawędzi płyt i miejsca spawania żebra.

Praca była realizowana w ramach projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 4T12C00429.

Literatura

- [1] O. M. Bouthier, R. J. Bernhard. *Simple models of the energetics of transversely vibrating plates*. J. of Sound and Vibration. 182, 1995, pp. 149-164.
- [2] A. Carcaterra, A. Sestieri *Energy density equations and power flow in structures*. J. of Sound and Vibration, 188, .1995, pp. 269-282.
- [3] J. Cieřlik, W. Bochniak. *Vibration energy flow in assembled structures*. In Proc. 13th ICSV, Vienna, 2006, CD, 6 p.
- [4] M. J. Daley. *Simulating and measuring structural intensity fields in plates induced by spatially and temporally random excitation*, J. of Vibration and Acoustics, 127, 2005, pp. 451-457,
- [5] L. Gavric. *Evaluation of structural intensity in assembled structures by modal approach*, Proc. of the Internoise 1997, Vol 2; 1997, pp. 675-678,
- [6] L. Gavric, G. Pavic. *A finite element method for computation of structural intensity by normal mode approach*. J. of Sound and Vibration, 164(1), 1993, pp. 29-43.
- [7] A. Le Bot. *Geometric diffusion of vibrational energy and comparison with the vibrational conductivity approach*, J. of Sound and Vibration, 212, 1998, pp. 637-647.
- [8] D. J. Nefske, S. H. Sung. *Power flow finite element analysis of dynamic systems: basic theory and application to beams*. Transactions of ASME, J. of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, 111, 1989, pp. 94-100.

Ultradźwiękowe badania ośrodków ciekłych prowadzone w Zakładzie
Akustyki Molekularnej Instytutu Akustyki UAM

*Scientific activity in the field of ultrasonics in the Molecular Acoustic Division of the Institute of
Acoustics, Adam Mickiewicz University*

Mikołaj Łabowski

Instytut Akustyki, Uniwersytet Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań

W fazie ciekłej w wyniku ruchu cieplnego zachodzą liczne, szybkie procesy przebudowy nietrwałych asocjacji i kompleksów. Elementarne akty tych procesów to w większości przypadków mono- i bimolekularne reakcje chemiczne. Akustyczna spektroskopia pozwala znajdować widma czasów relaksacji procesów molekularnych, które zachodzą w ośrodkach ciekłych, i z tych widm wyciągać wnioski nie tylko o charakterze procesów molekularnych, ale również o strukturze molekuł. Liczne procesy asocjacji i tworzenia kompleksów przy pomocy wiązań wodorowych lub innych słabych oddziaływań chemicznych, obroty izomerów, a także procesy wzbudzenia i dezaktywacji drgań wewnątrzmolekularnych, procesy powstawania i znikania fluktuacji stężenia w mieszaninach, zachodzą w fazie ciekłej z charakterystycznymi czasami rzędu 10^{-6} – 10^{-12} s.

Do badań tak szybkich reakcji w ostatnich latach z powodzeniem stosuje się metody akustycznej spektroskopii, które niosą informacje o dyspersji prędkości i współczynnika pochłaniania fal ultra- i hiperdźwiękowych propagujących się w ośrodkach ciekłych. Są to metody relaksacyjne. Uzyskane informacje o charakterystycznych wielkościach różnorodnych procesów relaksacyjnych zachodzących w ośrodkach ciekłych są tym dokładniejsze i wiarygodniejsze, im szerszy zakres częstotliwości fal akustycznych użyje się do badań. Tak więc przy pomocy spektroskopii ultradźwiękowej stwierdza się istnienie akustycznej relaksacji, a ponadto można ustalić, z jaką relaksacją mamy do czynienia, gdy badania prowadzimy w funkcji temperatury.

W ostatnim czasie w Instytucie Akustyki UAM intensywnie rozwija się ultradźwiękowe i magnetyczne badania nowych rodzajów materiałów magnetycznych: ferrocieczy i ferrożeli [1–8]. Dzięki swym unikatowym właściwościom, które plasują oba materiały między typową cieczą a typowym ciałem stałym, zaczynają one znajdować różnorodne praktyczne zastosowania w technice i medycynie. Zawdzięczają to zwłaszcza możliwości wpływania na ich właściwości mechaniczne za pomocą pola magnetycznego. Ferrociecze i ferrozele wykazują szereg interesujących właściwości fizycznych, które wygodnie i efektywnie mogą być badane metodami spektroskopii ultradźwiękowej

Innymi ośrodkami ciekłymi badanymi w Instytucie Akustyki UAM są mieszaniny krytyczne [9–12] oraz wodne roztwory elektrolitów i nieelektrolitów [13–17]. Akustyczne badania mieszanin krytycznych dostarczają informacji o dynamice zjawisk krytycznych w cieczach. Wszechstronna weryfikacja istniejących teorii opisujących propagację fal ultradźwiękowych w tych ośrodkach, takich jak teoria modów sprzężonych, teoria grupy renormalizacji czy teoria dynamicznego skalowania pozwala wyznaczyć szereg parametrów molekularnych charakteryzujących mieszaniny w stosunkowo prostszy sposób

niż metodami alternatywnymi. Parametrami tymi są promień korelacji fluktuacji parametru uporządkowania (stężenia), amplituda krytyczna ciepła właściwego (teoria modów sprzężonych), współczynnik dyfuzji wzajemnej oraz akustyczna stała sprzężenia będąca miarą siły pochłaniania fal akustycznych w punkcie krytycznym.

Wiązanie wodorowe występujące między cząsteczkami wody i nieelektrolitu prowadzi do tworzenia się w roztworze kompleksów molekularnych o określonym składzie. Dlatego też w wodnych roztworach nieelektrolitów obserwuje się wzrost pochłaniania fal ultradźwiękowych. Pochłanianie to ma z reguły charakter relaksacyjny. Skomplikowane oddziaływania molekularne w roztworach wodnych elektrolitów i amidów powodują wytworzenie określonych struktur molekularnych, których przykładem mogą być jony kompleksowe w roztworach elektrolitów i struktury klatratowe w roztworach amidów. Metoda akustyczna pozwala na określenie współczynnika ściśliwości adiabaticznej, a także — jeśli pochłanianie ma charakter relaksacyjny — na określenie czasu relaksacji procesu zachodzącego w roztworach oraz jego energii aktywacji.

Badania prowadzone w Zakładzie Akustyki Molekularnej były i są częściowo finansowe w ramach grantów KBN i Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: 2P 03B 179 08, 2P 03B 079 12, 5P03B 053 20, 8T 07B 027 20, 4T 07B 041 30 i N202 097 32/2406.

Literatura

- [1] A. Skumiel, A. Józefczak, T. Hornowski, M. Łabowski, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 36, 3120–3124 (2003).
- [2] A. Skumiel, T. Hornowski, A. Józefczak, *Ultrasonics*, 38, 864–867 (2000).
- [3] A. Skumiel, T. Hornowski, A. Józefczak, *Ultrasonics* 38, 864–867 (2000).
- [4] A. Skumiel, M. Łabowski, A. Józefczak, *Ultrasonics*, 40, 341–344 (2002).
- [5] A. Skumiel, *J. Magn. Magn. Mater.*, 307, 85–90 (2006).
- [6] A. Józefczak, A. Skumiel, M. Łabowski, *J. Magn. Magn. Mater.*, 290/291, 265–268 (2005).
- [7] A. Józefczak, *J. Magn. Magn. Mater.*, 293, 240–244 (2005).
- [8] M. Kaczmarek, T. Hornowski, A. Skumiel, M. Łabowski, *Acta Phys. Polon A*, 97, 639–649 (2000).
- [9] T. Hornowski, M. Łabowski, *Arch. Acoust.*, 21, 53–63, 1996.
- [10] D. Madej, T. Hornowski, *Acoust. Lett.*, 23, 253–256 (2000).
- [11] T. Hornowski, D. Madej, *Chem. Phys.*, 269, 303–311 (2001).
- [12] D. Madej, T. Hornowski, *J. Phys. D.: Condens. Matter*, 14, 13421–13439 (2002).
- [13] R. Behrends, P. Miecznik, U. Kaatz, *J. Phys. Chem. A.*, 106, 6039–6043 (2002).
- [14] P. Miecznik, *J. Chem. Phys.*, 110, 2539–2543 (1999)
- [15] P. Miecznik, Z. Gołębiewski, S. Mielcarek, *Fluid Phase Equilibria*, 221, 41–49 (2004)
- [16] J. Haller, P. Miecznik, U. Kaatz, *Chem. Phys. Lett.*, 429, 97–102 (2006).
- [17] P. Miecznik, M. Kaczmarek, *J. Mol. Liquids*, 133, 120–124 (2007)

Słuch absolutny i określanie jego dokładności

*Absolute pitch: The accuracy of performance*Andrzej Rakowski^{*,**}^{*}Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Słowackiego 20, 60-823 Poznań^{**}Akademia Muzyczna im. F. Chopina, Okólnik 2, 00-368 Warszawa
e-mail: rakowski@chopin.edu.pl**1. Wprowadzenie**

Słuch absolutny (SA) jest fenomenem długotrwałej pamięci słuchowej [1]. Posiadacze słuchu absolutnego są w stanie rozpoznać (bierny SA) lub również intonować (czynny SA) poszczególne wysokości dźwięku skali muzycznej w oparciu o utrwalone w pamięci wewnętrzne wzorce C, Cis, D... H, bez posługiwania się porównawczo zewnętrznym wzorcem wysokości i odmierzania od niego odpowiednich interwałów muzycznych. Rozpoznanie bądź zaintonowanie każdego z 12 dźwięków chromatycznej skali muzycznej może być dokonane w dowolnym rejestrze, gdyż dźwięki muzyczne powiązane oktawowo zachowują dla SA wspólną jakość (chromę) przechowywaną w pamięci.

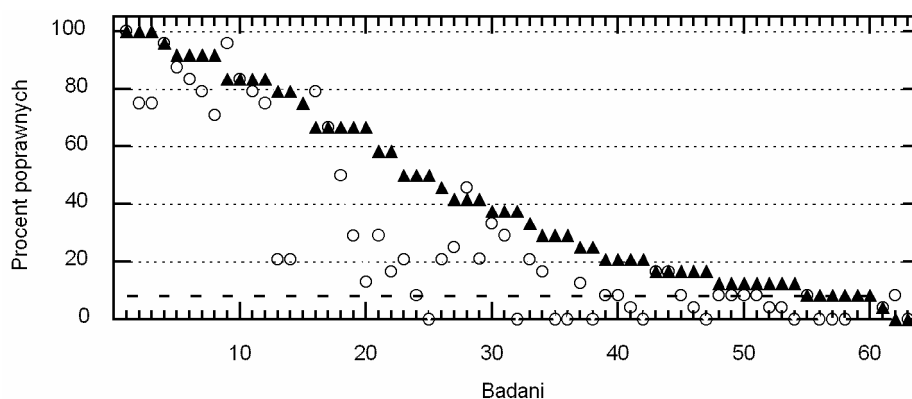
Dokładność SA może być oceniana w 5 aspektach. 1. Kompletność oznacza podział na SA pełny (12 chrom) i cząstkowy (najczęściej tylko jedna lub dwie chromy). 2. Nieomylność SA oznacza procent poprawnych rozpoznań, gdy 12 chrom prezentowanych jest w przypadkowej kolejności w postaci dźwięków o określonej barwie. Nieomylność szacować można w stopniach np. jako „bezbłędną” (100%), „wysoką” (powyżej 83%), „dobrą” (powyżej 65%), lub „dostateczną” (powyżej 50%) dla uznania danej osoby za posiadającą słuch absolutny. Warto przy tym pamiętać, że przy rozpoznawaniu jednej z 12 możliwych chrom przypadkowe odpowiedzi dają 8,3% prawdopodobieństwa trafienia. Nieomylność może być badana zarówno w słuchu biernym (co opisano powyżej), jak i w słuchu czynnym przy intonowaniu żądanych wysokości, głosem lub za pomocą przyrządu. 3. Krótki czas reakcji jest typowy dla w pełni rozwiniętego SA; może służyć za jedno z kryteriów oceny. 4. Niezależność SA od barwy i rejestru oznacza utrzymywanie stabilnej nieomylności SA przy zmianach barwy dźwięku i rejestru wysokości, w którym się pojawił. 5. Precyzja wewnętrznych wzorców słuchu absolutnego może być oceniana poprzez odwrotność miary dyspersji przy wielokrotnym dostrajaniu tonu do wysokości równej z tymi wzorcami; ten tekst może być zastosowany wyłącznie do osób mających czynny SA.

2. Badanie nieomylności słuchu absolutnego testem rozpoznawania wysokości dźwięków fortepianowych

Badanie przeprowadzono wśród grupy 61 studentów Akademii Muzycznej im. Fryderyka Chopina w Warszawie w roku akademickim 2003/2004. Zastosowano test rozpoznawania chromy z użyciem 24 dźwięków fortepianu występujących w kolejności quasi-losowej, w którym każda z 12 chrom występowała 2 razy. Test obejmował zakres od oktawy wielkiej (E, 82,41 Hz) do trzykreślnej (h^3 , 1976 Hz) i był odtwarzany z głośnika kilkusobowym grupom słuchaczy w pomieszczeniu izolowanym akustycznie. Słuchacze

notowali odpowiedzi na formularzach. Test przeprowadzono dwukrotnie, z cztero- i jedno-sekundowymi odstępami oddzielającymi początki poszczególnych dźwięków.

Jak widać na Rys. 1 określenie który z poddanych testowaniu studentów mają słuch absolutny wymaga przyjęcia założenia co do stopnia nieomylności, który uprawniałby do przyznania tej cechy. Przyjmując za podstawę wyniki testu czterosekundowego (Rys. 1, czarne trójkąty) i zaproponowany wcześniej sposób kwalifikowania można stwierdzić, że nieomylność „bezbłędna” (100% trafnych odpowiedzi) wykazały 3 osoby, „wysoką” (83% i więcej) – 12 osób, „dobrą” (65% i więcej) – 20 osób, zaś „wystarczającą” (50% i więcej) – 25 osób.



Rys. 1. Wyniki testów nieomylności rozpoznawania chromy dźwięków fortepianowych przy cztero-sekundowym (czarne trójkąty) i jedno-sekundowym (białe kółka) odstępach między dźwiękami. Kolejność wyników osób badanych uporządkowano na wykresie wg malejącej nieomylności w teście czterosekundowym.

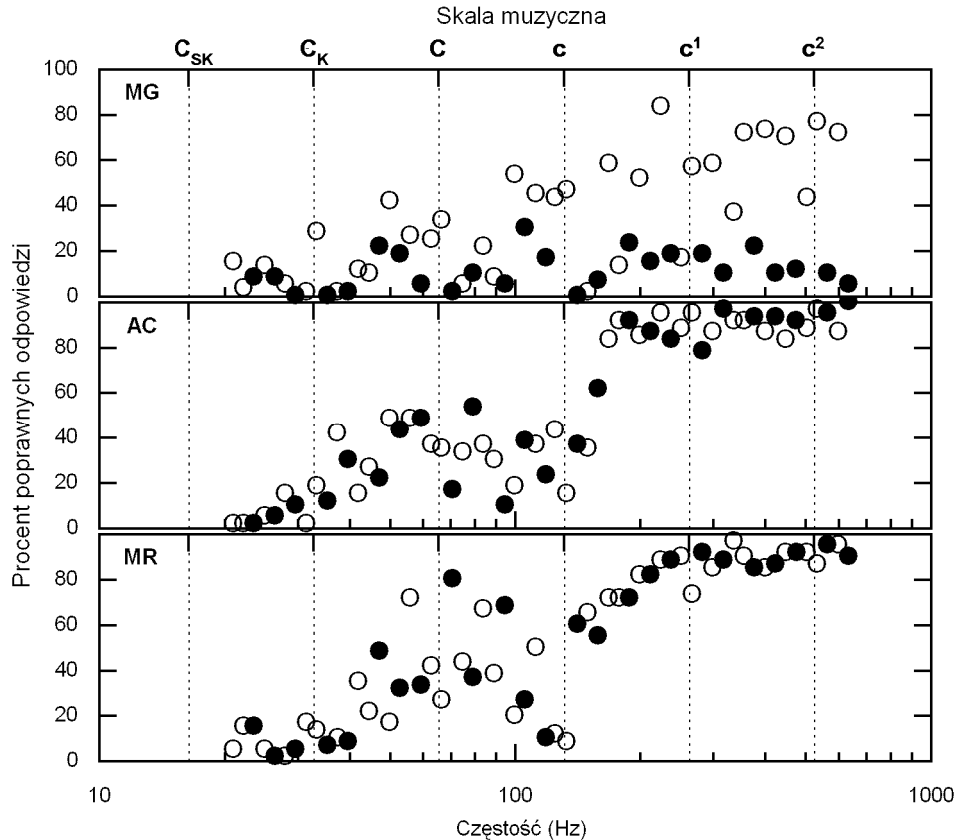
Obserwacja wyników testu czterosekundowego stwarza pewien niedosyt, bowiem w teście tym rozkład danych o nieomylności ma charakter zbliżony do ciągłego, co do pewnego stopnia zaprzecza oczekiwaniom na wyraźne wydzielenie się osób ze słuchem absolutnym. Można przypuszczać, że wśród osób, które objawiły kilkanaście lub kilkadziesiąt procent nieomylności znajdowały się również takie, które posługiwały się cząstkowym SA. Osoby te rozpoznawały natychmiast ten dźwięk, czy te dźwięki, które znajdowały się w ich pamięci długotrwałej a ponadto niejednokrotnie mogło im się udawać identyfikować inne dźwięki odmierzając w myśli interwał między nimi a własnym wzorcem. Aby wyeliminować taką możliwość przebadano wszystkich słuchaczy testem, który zawierał dokładnie te same dźwięki co test poprzedni, lecz w którym bodźce prezentowane były w odstępach jednosekundowych (Rys. 1, kółka nie wypełnione). Obserwacja wyników testu jednosekundowego wskazuje, że może on być pomocny przy takiej ocenie nieomylności, przy której zależy nam wyłącznie na wykryciu pełnego słuchu absolutnego.

3. Badanie wpływu barwy i rejestru prezentowanych dźwięków na nieomylność słuchu absolutnego

Przeprowadzono badania nieomylności rozpoznania chromy przy użyciu testu prezentującego dźwięki proste (tony) z czasem trwania 1,5 s i poziomem głośności 70 fonów. Test składał się z 60 tonów pełnej skali chromatycznej z zakresu od E subkontra

(20,60 Hz) do dis^2 (622,3 Hz) i był przeznaczony m.in. do zbadania efektu zanikania wrażenia chromy w najniższym rejestrze słyszalnym u słuchaczy posiadających SA [2], [3].

Badania prowadzono indywidualnie. Eksperyment przebiegał pod kontrolą programu komputerowego, który generował sygnały pomiarowe i rejestrował reakcje słuchaczy. Na ekranie monitora wyświetlana była klawiatura fortepianu w zakresie 1 oktawy. Zadanie słuchacza polegało na przyciśnięciu klawisza odpowiadającego wysokości chromatycznej C, Cis, D, etc. czyli chromie zaprezentowanego mu dźwięku. Czas na odpowiedź nie był limitowany. Następny dźwięk pojawiał się po upływie 500 ms od reakcji słuchacza na poprzednie zadanie testowe.



Rys. 2. Wyniki testów nieomyłności rozpoznawania dźwięków prostych (tonów) przy nielimitowanym czasie wydania decyzji. Każdy punkt pomiarowy przedstawia procent rozpoznań chromy określonego dźwięku wynikający z 60 odpowiedzi. Białe i czarne kółka oznaczają odpowiednio częstotści tonów odpowiadające białym i czarnym klawiszom na klawiaturze fortepianu. W testach udział wzięli trzej słuchacze (MG, AC, MR).

W eksperymencie wzięło udział 3 słuchaczy, którzy w teście nieomyłności rozpoznawania dźwięków fortepianowych (Rys. 1) uplasowali się na miejscach nr 1 (słuchacz MG), nr 3 (AC) i nr 4 (MR). Słuchacz MG był też jedynym, który uzyskał 100% nieomyłności w teście przy odstępach jednosekundowych a ponadto, biorąc udział w innym podobnym badaniu dźwiękami fortepianu uzyskał 100% rozpoznania przy odstępach 6 i 2

sekundy między dźwiękami. Trzej słuchacze wykonali po 60 serii pomiarowych, z których każda obejmowała rozpoznanie 60 chrom prezentowanych w porządku losowym.

Jak widać na Rys. 2 wrażliwość na rejestr, a przede wszystkim na barwę dźwięku przedstawia się różnie nawet dla osób, które uzyskały podobne, bardzo wysokie wyniki w teście rozpoznawania dźwięków fortepianu. Szczególnie interesujący przypadek stanowią wyniki słuchacza MG, który w pięciu różnych odmianach testu fortepianowego uzyskiwał sto procent prawidłowych rozpoznań. Oprócz ogólnego, znacznego obniżenia jakości wyników ujawniła się u niego cecha niemal całkowitego braku wrażliwości na tony, których częstości odpowiadały częstościom dźwięków czarnych klawiszy. Wydaje się to o tyle zaskakujące, że w badaniach dźwiękami fortepianowymi cecha ta nie ujawniła się nawet w najmniejszym stopniu. Powyższe zjawisko umożliwia postawienie interesującej hipotezy, iż nawet u osób które, jak się początkowo wydaje, utrwaliły w swej pamięci z równą dokładnością komplet 12 chrom, w istocie komplet ów dzieli się na dwie części, pierwotną diatoniczną (siedmiostopniową) przyswojoną w bardzo wczesnym dzieciństwie i drugą już po czasie upływu w dzieciństwie okresu krytycznego dla uformowań pamięciowych, składającą się z pięciu dźwięków chromatycznych. Ów ukryty podział na część starszą, trwalszą zbioru wzorców pamięciowych i część dodatkową, utrwaloną mniej silnie objawia się niespodzianie gdy w odbiorze pojawia się nowa, poważna trudność np. w postaci nieznannej barwy dźwięku.

Jak widać na Rys. 2 niezależność słuchu absolutnego od barwy dźwięku jest cechą indywidualną gdyż u dwóch pozostałych słuchaczy występuje w stopniu wyraźnie większym niż u MG, jakkolwiek i u nich w oktawie wielkiej (wokół częstości 100 Hz) ogół wyników nie kwalifikuje się nawet do kategorii „SA wystarczający”. Za definitywne ustanie poczucia chromy dźwięków prostych w słuchu absolutnym można na podstawie uzyskanych wyników uznać początek oktawy kontra, a więc rejon 30-40 Hz.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy nr N105 028 31/3210.

Literatura

- [1] K. Miyazaki. *Musical pitch identification by absolute pitch possessors*. Perception & Psychophysics, **44**(6), 501-512 (1988).
- [2] A. Bachem. *Chroma fixation at the ends of the musical frequency scale*. J. Acoust. Soc. Amer. **20**(5), 704-705 (1948).
- [3] A. Rakowski, P. Rogowski i A. Miśkiewicz. *Low-frequency chroma recognition in musicians with absolute pitch*. Proc. 18th International Congress on Acoustics, vol. **5**, pp. 3603-3606 (2004).

Aktualne obszary badań prowadzonych w rzeszowskim środowisku akustyków

Current investigation areas in the Rzeszów centre of acoustics

Wojciech P. Rdzanek

Uniwersytet Rzeszowski, Zakład Akustyki, Instytut Fizyki, Al. Rejtana 16A, 35-310 Rzeszów

E-mail: wprdzank@univ.rzeszow.pl

1. Wprowadzenie

Szkoła akustyki rzeszowskiej zapoczątkowana została przez pana profesora Romana Wyrzykowskiego, który przybył do ośrodka rzeszowskiego w roku 1966. Profesor Wyrzykowski jako przedstawiciel nauk fizycznych wypromował szereg swoich uczniów na doktorów nauk fizycznych i technicznych. Część z nich później habilitowała się, a jeden uzyskał tytuł naukowy profesora fizyki. Problematyka prac badawczych prowadzonych obecnie w ośrodku rzeszowskim w dziedzinie akustyki nie jest jednolita. Należy więc omówić kolejno tematykę podejmowaną przez poszczególne zespoły.

2. Zespoły badawcze

2.1. *Generacja i propagacja fal akustycznych w ośrodkach gazowych*

Instytut Fizyki, Uniwersytet Rzeszowski

Witold Rdzanek, Wojciech P. Rdzanek, Tomasz Zamorski, Krzysztof Szemela, Anna Różycka

W zakresie tego zagadnienia prowadzone są badania podstawowe dotyczące procesów falowych liniowych, dla ustalonych harmonicznych drgań cząstek ośrodka.

Wykorzystywane są znane dokładne rozwiązania zagadnień brzegowych drgających powierzchni membran, płyt, kołowych, pierścieniowych, prostokątnych, powłok cylindrycznych, sferycznych, sferoidalnych, stożkowych oraz różnorodnych układów dwu i więcej takich powierzchni drgających do rozwiązania następujących zagadnień brzegowych:

- Dirichleta (odgrody doskonale sztywne),
- Neumanna (odgrody doskonale podatne),
- mieszanych (odgrody o niezerowej impedancji akustycznej oraz kombinacje odgród doskonale sztywnych, podatnych i impedancyjnych),

dotyczących promieniowania dźwięku.

Analizowane są głównie takie wielkości fizyczne jak ciśnienie akustyczne, impedancja akustyczna i moc akustyczna wymienionych układów drgających powierzchni umieszczonych na różnorodnych układach odgród doskonale sztywnych, podatnych i impedancyjnych.

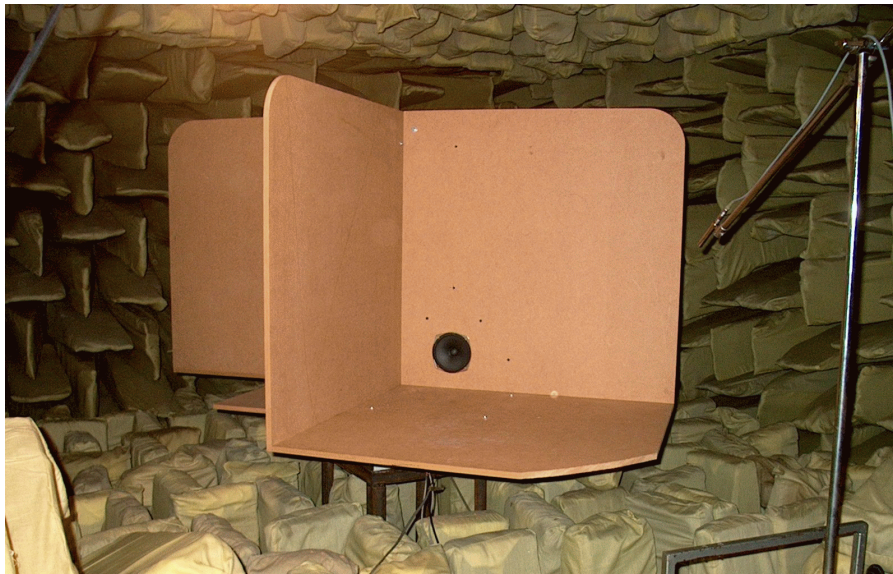
Badano promieniowanie fal akustycznych przez małe źródło powierzchniowe poruszające się po okręgu w pobliżu powierzchni sferoidalnej spłaszczonej lub wydłużonej

z uwzględnieniem zjawiska ugięcia fali akustycznej na powierzchni sferoidalnej doskonale sztywnej lub doskonale podatnej.

Dzięki obliczeniom impedancji akustycznej przeanalizowano wpływ drgającego gazu na drgania struktur powierzchniowych w całym zakresie częstotliwości, a szczególnie w pobliżu ich częstości własnych, gdzie wpływ tłumienia akustycznego jest szczególnie istotny. Pozwoliło to również badać zjawisko rezonansu i antyrezonansu drgań mechanicznych z uwzględnieniem tłumienia akustycznego.

Wymienione zagadnienia rozpatrywane są głównie przez:

- bezpośrednio rozwiązanie jednorodnego lub niejednorodnego równania falowego – równania Helmholtza dla drgań ustalonych przy zadanych warunkach brzegowych,
- wykorzystanie funkcji Greena przy zadanych warunkach brzegowych.



Rysunek 1. Stanowisko badawcze w małej komorze bezechowej w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Wykorzystanie rozwinięcia w szereg funkcji własnych pozwoliło analizować wielkości akustyczne na podstawie dokładnych rozwiązań zagadnienia brzegowego drgających powierzchni. Przy obliczaniu ciśnienia akustycznego w wielu przypadkach otrzymano dokładne elementarne wzory. Natomiast przy rozpatrywaniu mocy akustycznej w zakresie wysokich częstości otrzymano elementarne wzory asymptotyczne. W tym celu wykorzystano analityczną metodę zainicjowaną przez Witolda Rdzanka, a udoskonaloną przez Levine'a i Leppingtona [1,2] odpowiednio stosując twierdzenie Cauchy'ego o całce konturowej oraz metodę stałej fazy lub punktu siodłowego w zależności od rozwiązywanego zagadnienia [3–8]. W zakresie niskich częstości również otrzymano szereg rozwiązań przybliżonych w postaci szybkozbieżnych szeregów. W tym celu wykorzystano metodę sumowania szeregów hiperheometrycznych [9,10].

Przy pewnych kombinacjach warunków brzegowych konieczne było znalezienie funkcji Greena w jednej z reprezentacji:

- Fouriera widma dyskretnego i ciągłego,
- Hankela widma ciągłego.

Pozwoliło to obliczać teoretyczne oraz weryfikować doświadczalnie wartości ciśnienia akustycznego oraz impedancji akustycznej najprostszycy źródeł w postaci płaskich tłoków kołowych i prostokątnych w obszarach naroża dwuściennego, trójściennego oraz w obszarze układu odgród w postaci sztywnego półnieskończonego cylindra i płaskiej nieskończonej powierzchni [11–14] (rys. 1).

Członkowie tego zespołu badawczego prowadzą intensywną współpracę naukowo-badawczą z Katedrą Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie oraz z Centralnym Instytutem Ochrony Pracy w Warszawie.

2.2. *Propagacja fal w półnieskończonych falowodach cylindrycznych bez odgrody*
Instytut Fizyki, Uniwersytet Rzeszowski
Anna Snakowska

Prowadzone są badania, których podsumowaniem jest opublikowana ostatnio monografia [15]. Teoria falowodów, a w szczególności falowodów cylindrycznych, stanowi zarówno ze względów teoretycznych jak i praktycznych, ważną część klasycznej teorii fal akustycznych, ponieważ elementy tego rodzaju występują w wielu urządzeniach, jak na przykład systemy wentylacyjne i grzewcze czy wyloty silników odrzutowych, które ponadto są często źródłem znacznego hałasu. Falowód półnieskończony to model falowodu otwartego na jednym końcu, którego długość jest równa, co najmniej, kilku długościom fali i którego drugi koniec jest wyłożony materiałem zapobiegającym powstawaniu fali odbitej. Uwzględnienie dyfrakcji fali na wylocie falowodu znacznie komplikuje opis matematyczny zagadnienia.

Rozwiązanie zagadnienia dyfrakcyjnego półnieskończonego falowodu cylindrycznego o sztywnej powierzchni [16], to znaczy obliczenie potencjału prędkości wewnątrz i na zewnątrz falowodu pozwoliło na całościową analizę pola akustycznego, czyli:

- zjawisk na wylocie, poprzez obliczenie współczynników transformacji i odbicia fali na wylocie, obliczenie impedancji wylotu,
- transportu energii fali w falowodzie poprzez obliczenie współczynników odbicia mocy,
- pola dalekiego poprzez wyznaczenie funkcji kierunkowej potencjału, a następnie charakterystyk kierunkowych ciśnienia, natężenia dźwięku i funkcji zysku mocy.

Otrzymane rozwiązania teoretyczne stały się podstawą do obliczeń numerycznych, które z kolei mogą posłużyć do porównań z danymi uzyskanymi z pomiarów.

Wyniki dotychczasowych prac dotyczyły fali padającej o postaci pojedynczego modu falowodowego. Podejście takie nazywamy przybliżeniem jednomodalnym – najczęściej stosuje się je jako przybliżenie fali płaskiej. Z drugiej strony, analiza charakterystyk kierunkowych wyższych modów propagujących się w falowodzie wskazuje na ich zasadniczo odmienny kształt od charakterystyk fali płaskiej. Analiza funkcji zysku mocy pozwala z kolei określić obszary przestrzeni, w które promieniowana jest znaczna część mocy. Wyznaczenie tych

obszarów jest istotne ze względu na występujące coraz wyższe poziomy hałasu (na przykład w pobliżu lotnisk).

W praktyce duże znaczenie ma analiza pobudzenia wielomodalnego. Pobudzenie to jest stosunkowo rzadko analizowane w literaturze, ponieważ ilościowy opis pola wzbudzonego w konkretnym układzie akustycznym wymaga wyznaczenia amplitud i faz poszczególnych modów, co jest zazwyczaj bardzo trudne lub niemożliwe. Model takiego pobudzenia, oparto na dodatkowych założeniach ekwipartycji energii pomiędzy mody [17] i losowości faz [18]. Uzyskane w ramach tego modelu wyniki, opublikowane w czasopiśmie z listy filadelfijskiej, wielokrotnie referowane na konferencjach i wykorzystane także przez innych autorów (Philip, Morfey) stanowią istotny i oryginalny wkład w teorię falowodów. Całościową analizę pola przeprowadzono jak uprzednio, badając ponadto różne rodzaje pobudzenia – sygnałem o określonej częstotliwości, wielotonem, a także szumem białym wąskopasmowym. Eksperymenty, przeprowadzone w Laboratorium Akustyki Politechniki Wrocławskiej, przy udziale dra H. Idczaka i dra B. Bogusza wskazują na dobrą zgodność przedstawionego modelu z doświadczeniem. Przedstawiony opis pola akustycznego wychodzi poza stosowaną zwykle postać kanoniczną, zakładającą pobudzenie określoną częstotliwością i pojedynczym modem falowym, zbliżając się do pól występujących w praktyce. Wszystkie wyniki, które uzyskano w oparciu o przedstawiony model wykazują lepszą zgodność z wynikami pomiarów niż którekolwiek ze stosowanych wcześniej przybliżeń, takich jak przybliżenie fali płaskiej czy przybliżenie jednej fazy, zwane inaczej przybliżeniem źródeł niekoherentnych.

Prowadzone są także prace nad spójnym opisem fal akustycznych i elektromagnetycznych na granicy dwóch ośrodków, w szczególności nad odbiciem fali kulistej w warunkach umożliwiających powstanie fali bocznej [19] i w falowodach [20].

2.3. *Aktywna redukcja drgań płyt i towarzyszących im fal akustycznych*
Instytut Techniki, Uniwersytet Rzeszowski
Lucyna Leniowska

W Instytucie Techniki UR prowadzone są badania teoretyczne i doświadczalne dotyczące problemów aktywnego tłumienia drgań płyt. Drgania te są ściśle związane z promieniowaniem do otaczającego ośrodka fal akustycznych, zwykle uciążliwych dla człowieka. Eliminacja drgań to ważny problem dla współczesnej nauki, dotyczący zarówno kwestii projektowania i eksploatacji drgających urządzeń, ich zastosowań, jak również akustyki środowiska, czy też hydroakustyki.

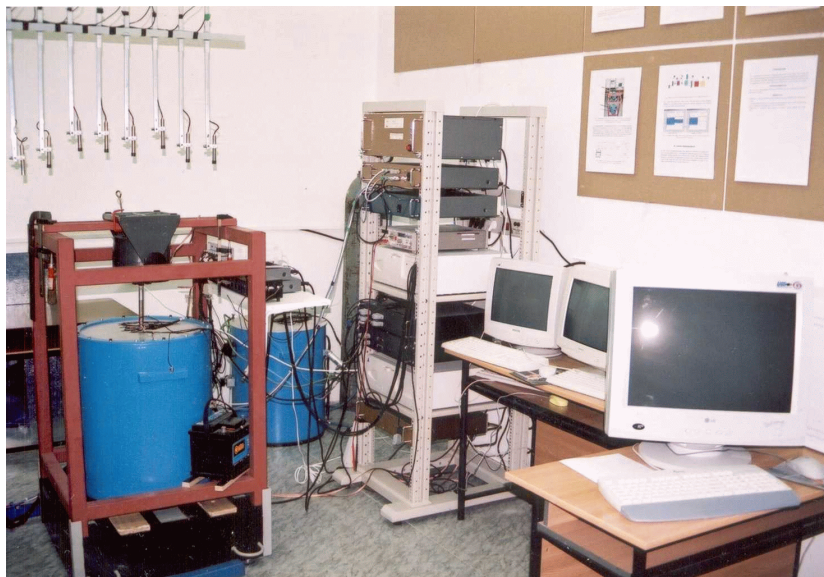
Metody aktywne, znane w akustyce od 70 lat, są alternatywą dla często niepraktycznych i kosztownych metod pasywnych i stwarzają od pewnego czasu nowe możliwości rozwiązywania zagadnień redukcji drgań i towarzyszących im dźwięków. Typowy układ aktywnej redukcji drgań składa się z trzech komponentów:

- czujników, dostarczających informacji o bieżącym stanie wielkości sterowanej,
- elementów wykonawczych – aktuatorów, których zadaniem jest dostarczenie do układu dodatkowej energii umożliwiającej kompensację drgań lub/i hałasu,
- układu sterowania, który w zależności od wybranego algorytmu wyznaczy sygnały dla urządzeń wykonawczych.

Do wyznaczenia układu sterowania wykorzystywane są zarówno modele analityczne, uwzględniające szereg zjawisk, takich jak: oddziaływanie ośrodka, odgródę o skończonych

wymiarach, tłumienie wewnętrzne materiału oraz kilka typowych konfiguracji warunków brzegowych, jak również wyznaczone eksperymentalnie modele parametryczne różnych rzędów oraz modele nieliniowe w formie sztucznej sieci neuronowej. Jednym z istotnych osiągnięć w badaniach nad aktywnym tłumieniem drgań płyt było m.in. opracowanie modelu teoretycznego układu drgającego z uwzględnieniem oddziaływania ośrodka i rozwiązanie go na gruncie teorii liniowo-kwadratowej, w przypadku gdy źródło siły „wtórnej” było punktowe (wzbudnik) oraz powierzchniowe (dyski PZT).

Dla opracowywanych modeli projektowane są układy sterowania. Stosowane są dwa podstawowe rodzaje sterowania: punktowe i powierzchniowe oraz takie regulatory, które mają duże znaczenie praktyczne i szerokie wsparcie narzędzi projektowych. Dotychczas w syntezach układu sterowania zastosowano: klasyczny regulator PID, regulator optymalny z kwadratowym wskaźnikiem jakości, regulator modalny z lokalizacją biegunów metodą Ackermana, a także regulatory rozmyte typu PID o skalarnym i wektorowym sygnale wejściowym [21].



Rysunek 2. Stanowisko badawcze w Instytucie Techniki Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Prowadzone są również badania eksperymentalne na skonstruowanym stanowisku badawczym (rys. 2), dla którego opracowano specjalistyczne oprogramowanie działające w czasie rzeczywistym. Zastosowane algorytmy sterowania są implementowane na kaskadowym układzie sterowania (konfiguracja typu master-slave), a wszystkie uzyskane dotychczas wyniki potwierdzają wysoką skuteczność redukcji drgań za pomocą metod aktywnych [21–28].

2.4. *Propagacja fal akustycznych w ośrodkach płynnych*
Katedra Fizyki, Politechnika Rzeszowska
Henryka Czyż

Propagacja fal ultradźwiękowych w ośrodkach płynnych, niejednorodnych

Prowadzone badania dotyczą analizy zagadnienia propagacji akustycznej fali płaskiej w ośrodku płynnym, ze szczególnym uwzględnieniem wątków aplikacyjnych problematyki [29–32].

Tematyka prac dotyczy właściwości pola akustycznego, które polegają na przyspieszaniu ruchu cząstek rozproszonych w ośrodkach płynnych. Opis fizyczny tych zjawisk można nazwać akustyką fazy rozproszonej, a więc akustyką jednego tylko składnika dwuskładnikowego ośrodka, w którym istnieje pole akustyczne.

Pole akustyczne w zależności od natężenia i częstotliwości fali oraz warunków fizycznych ośrodka może powodować koagulację, czyli łączenie się małych cząstek w większe agregaty lub rozdrabnianie dużych cząstek na małe. Do celów koagulacji stosuje się częstotliwości odpowiednio dobrane do wielkości cząstek, aby siły pochodzące od pola akustycznego zbliżały cząstki do siebie i sprzyjały ich łączeniu. Siły tego samego rodzaju, przy innych stosunkach częstotliwości fali do rozmiarów cząstek powodują procesy dezintegracji, rozdrabniania.

Zastosowania funkcji specjalnych w rozwiązywaniu zagadnień propagacji fal akustycznych w ośrodkach płynnych, niejednorodnych

Prace badawcze w tym zakresie koncentrują się na obliczeniach współczynników odbicia i transmisji fali w ośrodkach akustycznie niejednorodnych. Proponowana metoda rozwiązania równania Helmholtza o zmiennej liczbie falowej w ośrodkach składających się z kilku warstw, różni się od dotychczas prezentowanych w literaturze. Odpowiedni dobór funkcji specjalnych do matematycznego opisu propagacji fal akustycznych w ośrodkach płynnych, niejednorodnych pozwala przedstawić wyniki rozważań w analitycznej postaci.

Rozwiązanie zagadnienia dyfrakcyjnego w szczególnym przypadku – przeszkody w kształcie eliptycznego cylindra

Prowadzone tu prace badawcze związane są z rozwiązaniem zagadnień falowych, ważnych z punktu widzenia praktycznych zastosowań, związanych z elipsami oraz eliptycznymi cylindrami (zagadnienie dyfrakcyjne w przypadku przeszkody w kształcie eliptycznego cylindra, drgania wody w eliptycznych zbiornikach).

2.5. *Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Rzeszowska*
Adam Brański

1-go czerwca 2007 roku powstała Pracownia Akustyki na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Działalność naukowa jest prowadzona w trzech kierunkach [33–36]:

Modelowanie matematyczne akustycznych zagadnień brzegowych oraz zagadnień brzegowych potencjału

Zagadnienia modeluje się, a następnie rozwiązuje metodami brzegowymi, ze szczególnym zwróceniem uwagi na metodę Trefftza. Rozważane zagadnienia to emisja, propagacja i dyfrakcja dźwięku oraz rozkład pola potencjalnego w obszarze wielu przewodników.

Zastosowanie ultradźwięków w inżynierii środowiska

Treścią badań jest ustalenie optymalnych parametrów fali akustycznej potrzebnej do dezintegracji bakterii w wodzie oraz ściekach (komunalnych i przemysłowych),

Aktywna redukcja drgań struktur niesymetrycznych (płyt trójkątnych z warunkami P-F-F) z wykorzystaniem PZTs

Badania dotyczą quasi-optymalnej dystrybucji PZTs na płycie trójkątnej oraz weryfikacji efektywności tłumienia drgań poprzez analizę parametrów mechanicznych (momentów gnący i sił tnących w utwierdzeniu) akustycznych (pola akustycznego w otoczeniu płyty).

3. Zakończenie

Akustycy rzeszowscy publikują wyniki swoich badań naukowych w wysoko liczących się czasopismach z „listy filadelfijskiej” i międzynarodowej jak: *Journal of Sound and Vibration*, *Applied Acoustics*, *Acta Acustica united with Acustica*, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* *International Journal of Acoustics and Vibration*, *Archives of Acoustics*, *Molecular and Quantum Acoustics* i innych.

W ciągu ostatnich czterech lat – 4 osoby uzyskały stopień naukowy doktora habilitowanego nauk technicznych w zakresie wibroakustyki, a piąta – finalizuje proces habilitacyjny. Rozprawa jednego z doktorów habilitowanych została wyróżniona *Nagrodą Prezesa Rady Ministrów*.

Literatura

- [1] W. Rdzanek. *The sound power of a circular plate for high-frequency wave radiation*. Archives of Acoustics, **3**(4), 331–340 (1983).
- [2] W. Rdzanek. *Mutual impedance of a circular plate for axially-symmetric free vibrations at high frequency of radiating waves*. Archives of Acoustics, **17**(3), 439–448 (1992).
- [3] W.P. Rdzanek, Z. Engel. *Asymptotic formulas for the acoustic power output of a clamped annular plate*. Applied Acoustics, **60**(1), 29–43 (2000).
- [4] W.P. Rdzanek. *The energy aspect of the reciprocal interactions of pairs of two different vibration modes of a clamped annular plate*. Journal of Sound and Vibration, **249**(2), 307–323 (2002).
- [5] W.P. Rdzanek, W. Rdzanek. *Asymptotic formulas for the acoustic radiation impedance of an elastically supported annular plate*. Journal of Sound and Vibration, **301**(3-5), 544–559 (2007).

- [6] W.P. Rdzanek. *The sound power from an individual mode of a clamped-free annular plate*. Journal of Sound and Vibration, **261**, 775–790 (2003).
- [7] W.P. Rdzanek, Z. Engel, W. Rdzanek. *Theoretical analysis of sound radiation of an elastically supported circular plate*. Journal of Sound and Vibration, **265**(1), 155–174 (2003).
- [8] W.P. Rdzanek. *The sound power radiated by some axisymmetric vibration modes of a guided annular plate*. International J. Acoustics and Vibration, **8**(1), 33–37 (2003).
- [9] W.M. Zawieska, W.P. Rdzanek, W. Rdzanek, Z. Engel. *Low frequency estimation for the sound radiation efficiency of some simply supported flat plates*. Acta Acustica/Acustica, **93**(3), 353–363 (2007).
- [10] W.P. Rdzanek, W. Rdzanek, Z. Engel, K. Szemela. *The modal low frequency noise of an elastically supported circular plate*. International J. Occupational Safety and Ergonomics, **13**(2), 147–157 (2007).
- [11] W.P. Rdzanek, W. Rdzanek, K. Szemela. *An application of Green's function for the acoustic radiation of a source located near the two-wall corner*. Archives of Acoustics, **31**(4), 107–113 (2006).
- [12] W.P. Rdzanek, K. Szemela. *Reduction of the sound power radiated by a two piston system located near the three-wall corner*. Archives of Acoustics, **32**(2), 339–350 (2007).
- [13] W.P. Rdzanek, K. Szemela, D. Pieczonka. *The sound pressure radiated into the far field by a circular piston located in the vicinity of the two-wall corner and the three-wall corner*. Submitted to 54th Open Seminar on Acoustics.
- [14] W.P. Rdzanek, W. Rdzanek, A. Różycka. *The Green function for the Neumann boundary value problem at the semiinfinite cylinder and the flat infinite baffle*. Submitted to 54th Open Seminar on Acoustics.
- [15] A. Snakowska. *Acoustics of cylindrical duct accounting diffraction at the outlet*. University of Rzeszów Press, Rzeszów, Poland (2007), In Polish.
- [16] A. Snakowska, R. Wyrzykowski. *Calculation of the acoustical field of a semi-infinite cylindrical waveguide by means of the Green's function expressed in cylindrical coordinates*. Archives of Acoustics, **11**(3), 261–285 (1986).
- [17] A. Snakowska. *On the principle of equipartition of energy in the sound field inside and outside a circular duct*. Acustica, **79**(2), 155–160 (1993).
- [18] A. Snakowska, H. Idczak, B. Bogusz. *Modal analysis of the acoustic field radiated from an unflanged cylindrical duct-theory and measurement*. Acustica, **82**(2), 201–206 (1996).
- [19] A. Snakowska. *The appearance of the acoustic and electromagnetic lateral wave in propagation phenomena*. Archives of Acoustics, **30**(4), 521–532 (2005).
- [20] A. Snakowska. *Waves in ducts described by means of potentials*. Archives of Acoustics.
- [21] L. Leniowska. *Aktywne metody redukcji drgań płyt kołowych*. Wyd. Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów 2006.
- [22] L. Leniowska. *Active vibration control of the circular plate with simply-supported boundary condition*. Molecular and Quantum Acoustics, **24**, 109–124 (2003).
- [23] L. Leniowska. *Modelling and control of structure-acoustic interaction problems via piezoceramic actuators*. Mechanics, **24**(2), 113–119 (2005).
- [24] L. Leniowska. *Modelling of piezoceramic actuators of circular plate to reduce noise and vibration*. Molecular and Quantum Acoustics, **26**, 191–204 (2005).

- [25] L. Leniowska. *Effect of active vibration control of circular plate on the sound radiation*. Archives of Acoustics, **31**(1), 91–101 (2006).
- [26] L. Leniowska, R. Leniowski. *Active attenuation of sound radiation from circular fluid-loaded plate*. International J. Acoustics and Vibration, **6**(1), 35–41 (2001).
- [27] L. Leniowska, R. Leniowski. *Active control of circular plate vibration by using piezoceramic actuators*. Archives of Control Science, **13**(4), 391–403 (2003).
- [28] L. Leniowska, R. Leniowski. *Predictive feedback approach to structural vibration suppression*. Archives of Control Science, **16**(1), 35–50 (2006).
- [29] H. Czyż, T. Markowski. *The Mathieu functions applied to some problems in underwater acoustics*. Annual Journal-Hydroacoustics, **9**, 23–30 (Gdańsk 2006).
- [30] H. Czyż, T. Markowski. *Hankel transform application to some questions in electrodynamics and theoretical acoustics*. Journal of design engineering, production and exploitation vehicles and trains, **13**, 188–194 (Lwów 2006).
- [31] H. Czyż, T. Markowski. *Applications of dispersed phase acoustics*. Archives of Acoustics, **31**(4 Supplement), 59–64 (2006).
- [32] H. Czyż, W. Ściuk. *Acoustic field influence on kinetics of phase transition: water – steam*. Annual Journal-Hydroacoustics, **10**, 215–220 (Gdańsk 2007).
- [33] A. Brański. *Quasi-optimal model of the acoustic source*. Engineering Analysis with Boundary Elements, **24**(9), 685–693 (2000).
- [34] A. Brański. *Acoustic radiation calculations by a hybrid separation of variables – boundary element method*. Archives of Acoustics, **26**(1), 11–24 (2001).
- [35] A. Brański, R. Olszewski. *Some practical aspects of optimal modeling in BEM*. Archives of Acoustics, **26**(2), 92–105 (2001).
- [36] A. Brański, S. Szela. *The quasi-optimal distribution of PZTs in active reduction of triangular plate vibration*. In *8th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods*, pp. 60–61, Kraków-Krasiczyn, Poland, June 11–14 2007.

The acoustoelectric method of surface electron parameters determination in semiconductors

Tadeusz Pustelny

Institute of Physics, Silesian University of Technology, Akademicka 2, 44-100 Gliwice

E-mail: Tadeusz.Pustelny@polsl.pl

During the past years, the high frequency and nondestructive surface acoustic wave (SAW) measurement technique has been developed and used to characterise the electron and electrical surface properties of semiconductor materials. Propagated surface acoustic wave in the layered structure: piezoelectric waveguide – semiconductor accompanys an electric field which interacts with the free carriers of the semiconductor.

The reaches of acoustoelectric effects which are results of those interactions have both basic as well as utility meanings [1].

In the majority of these experiments, the transverse acoustoelectric voltage (TAV) methods are used [2]. By the TAV methods, the important surface semiconductor parameters such as carrier density, type of electrical conductivity in near surface region, electrical surface potential, the lifetime of minority carriers, excess generation and recombination lifetime, deep-levels in bend gap and their activation energy.

Using the TAV method, the wide investigations of near surface region in semiconductors of the III-V groupe were carried out. There were investigated: GaAs, GaP, InAs and GaP.

The obtained results are new and original in some cases.

References

- [1] T. PUSTELNY, *Acoustica – acta acustica*, **83**, (1997), 482-488.
- [2] T. PUSTELNY, B. PUSTELNY, *Journal de Physique IV*, **137**, (2006), 165-169.

OGÓLNA AKUSTYKA LINIOWA



GENERAL LINEAR ACOUSTICS

Wpływ korekcji fazy na impedancję akustyczną płaskich kołowych źródeł dźwięku

Influence of phase correction on the acoustic impedance of circular planar sources

Paweł Kos, Lucyna Leniowska

*Institut Techniki, Uniwersytet Rzeszowski, Al. Rejtana 16a, 35-959 Rzeszów
 e-mail: lleniow@univ.rzeszow.pl, pkos@univ.rzeszow.pl*

1. Wprowadzenie

Istnieje wiele dziedzin np.: metrologia, diagnostyka hydrolokacja, w których wykorzystywane są źródła o wysokiej kierunkowości, czyli źródła, które wypromieniowują energię tylko w określonym kierunku. W pracy [1] wykazano, że dla rozkładów posiadających na powierzchni źródła kołowego linie węzłowe możliwa jest istotna poprawa kierunkowości promieniowania, zarówno w przypadku źródeł drgających w odgradzie nieskończonej, jak również w przypadku odgrady o skończonych wymiarach. Metoda ta, zaproponowana w [4], polega ona na odwróceniu fazy prędkości drgań między wybranymi liniami węzłowymi. Analitycznie efekt ten, nazywany dalej “korekcją fazy” uzyskano zamieniając ujemne wartości prędkości drgań na wartości do nich przeciwne. W technicznych realizacjach można to uczynić dokonując odpowiedniego wyprofilowania powierzchni źródła, co pokazano w pracy [4]. W niniejszym artykule wyznaczono impedancję akustyczną kołowego źródła dźwięku z korektą fazy, co umożliwia analizę własności energetycznych źródła w przypadku poprawy jego kierunkowości promieniowania w obrębie strefy Fraunhofera.

2. Impedancja tłoka w nieskończonej odgradzie

W pracy [2] analizowano rozkład prędkości drgań dla tłoka w nieskończonej odgradzie, który daje dużą kierunkowość promieniowania źródła:

$$u(r) = \begin{cases} \frac{2u_0 J_1(\alpha_{1m} r/a)}{\alpha_{1m} r/a} & 0 < r \leq a \\ 0 & r > a \end{cases} \quad (1)$$

przy czym: $u(r) = u_0 f(r)$, $f(r)$ - funkcja rozkładu prędkości drgań. Dokonamy poprawy kierunkowości powyższego rozkładu wprowadzając korektę fazy [1]:

$$u(r) = \begin{cases} \left| \frac{2u_0 J_1(\alpha_{1m} r/a)}{\alpha_{1m} r/a} \right| & 0 < r \leq a \\ 0 & r > a \end{cases} \quad (2)$$

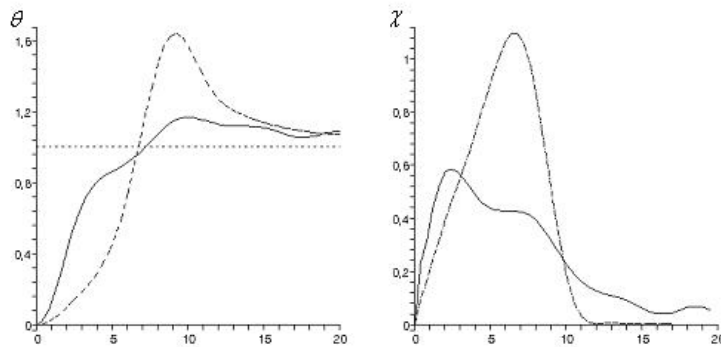
Dla tak zdefiniowanego osiowo-symetrycznego rozkładu drgań, korzystając z rozważań zaprezentowanych w pracy [2], można wyznaczyć znormalizowaną impedancję źródła:

$$\zeta = \frac{Z}{\pi A^2 \rho c} = \theta + i\chi, \quad \text{gdzie:} \quad \theta = \frac{2(ka)^2}{1 - J_0^2(\alpha_{1m})} \int_0^{\frac{\pi}{2}} W^2(ka \sin \Theta) \sin \Theta d\Theta, \quad (3)$$

$$\chi = \frac{2(ka)^2}{1 - J_0^2(\alpha_{1m})} \int_0^{\infty} W^2(ka \cosh \psi) \cosh \psi d\psi$$

oraz $W(ka\zeta)$ - jest funkcją charakterystyczną: $W(ka\zeta) = \int_0^1 J_1(\alpha_{1m}R)J_0(ka\zeta R)dR$.

Obliczenia zostały przeprowadzone w sposób numeryczny z wykorzystaniem znanych algorytmów całkowania.



Rys. 1. Impedancja względna źródła kołowego o dużej kierunkowości dla α_{12} po korekcie fazy (linia ciągła) i bez korekty (linia przerywana)

3. Wnioski

Na podstawie otrzymanych przebiegów unormowanej impedancji akustycznej można stwierdzić, że w zakresie analizowanych długości fali poprawa kierunkowości promieniowania za pomocą 'korekty fazy' rozkładu prędkości drgań powoduje zmniejszenie wartości energii wypromieniowanej przez źródło.

Literatura

- [1] L. LENIOWSKA, R. WYRZYKOWSKI *Effect of phase shift on the directivity of acoustic plane sources* ACUSTICA- Acta acustica Vol.86. No.3, pp. 405-412, (2000)
- [2] R. WYRZYKOWSKI i in., *Chosen issues of the theory of acoustic field*, FOSZE, Rzeszów 1994 (in Polish)
- [3] A. P. PRUDNIKOV, JU. A. BYCHKOW, O. J. MARICZEW *Integrały i Rjady*, Wyd. Nauka, Moskwa 1983
- [4] A. BARONE, J. A. GALLEGU-JUAREZ: *Flexural vibrating free edge plater with stepped thickness for generating high directional ultrasonic radiation*, Acoust. Soc. Am. 51, 953-959 (1972)

Funkcja Greena zagadnienia brzegowego Neumanna układu walca półnieskończonego i płaskiej nieskończonej odgrody

The Green function for the Neumann boundary value problem at the semiinfinite cylinder and the flat infinite baffle

Wojciech P. Rdzanek, Witold J. Rdzanek, Anna Różycka

Uniwersytet Rzeszowski, Zakład Akustyki, Instytut Fizyki, Al. Rejtana 16A, 35-310 Rzeszów

E-mail: annar@univ.rzeszow.pl

1. Wprowadzenie

W pracy przedstawiono metodę funkcji Greena do przedstawienia ciśnienia akustycznego dla układu półnieskończonego walca i płaskiej nieskończonej odgrody. Otrzymano wzory dla funkcji Greena wyrażone za pomocą kombinacji funkcji cylindrycznych Bessela pierwszego i drugiego rodzaju oraz ich pochodnych – wszystkie n -tego rzędu. Ciśnienie akustyczne pokazane jest dla dwóch przypadków: pierwszy to drgająca harmonicznie powierzchnia – tłok w postaci wycinka walca (umieszczony na półnieskończonym walcu), w drugim drgający tłok w postaci wycinka pierścienia umieszczony na płaskiej odgradzie w pobliżu walca półnieskończonego.

2. Funkcja Greena

Rozpatrywany obszar zagadnienia brzegowego Neumanna w układzie współrzędnych cylindrycznych (r, φ, z) zdefiniowany jest jako $\Omega = \{a \leq r < \infty; 0 \leq z < \infty; 0 \leq \varphi \leq 2\pi\}$, gdzie spełniony jest warunek brzegowy

$$\left. \frac{\partial}{\partial n} G(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) \right|_{S_\Omega} = 0 \quad (1)$$

W obszarze Ω spełnione jest równanie falowe

$$(\Delta + k^2) G(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) = -\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \quad (2)$$

gdzie $\mathbf{r} = (r, \varphi, z)$, $\mathbf{r}_0 = (r_0, \varphi_0, z_0)$, a funkcję Greena rozwinięto w szereg Fouriera

$$G(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{in(\varphi-\varphi_0)} G_{nk}(r, z | r_0, z_0) \quad (3)$$

dla $k \in \{1, 2\}$ ze współczynnikami Fouriera

$$G_{n1}(r, z | r_0, z_0) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} \cos \zeta z \cos \zeta z_0 \frac{H_n^{(1)}(\gamma r_0)}{H_n^{(1)\prime}(\gamma a)} \times [J_n'(\gamma a) Y_n(\gamma r) - Y_n'(\gamma a) J_n(\gamma r)] d\zeta \quad \text{dla } a \leq r \leq r_0 < +\infty \quad (4a)$$

$$G_{n2}(r, z | r_0, z_0) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} \cos \zeta z \cos \zeta z_0 \frac{H_n^{(1)}(\gamma r)}{H_n^{(1)\prime}(\gamma a)} \times [J_n'(\gamma a) Y_n(\gamma r_0) - Y_n'(\gamma a) J_n(\gamma r_0)] d\zeta \quad \text{dla } a \leq r \leq r_0 < +\infty \quad (4b)$$

gdzie znak ' oznacza różniczkowanie po argumentcie.

3. Ciśnienie akustyczne

Rozpatrywane są dwie sytuacje. W pierwszej drgająca harmonicznie powierzchnia – tłok w postaci walca – umieszczona jest na walcu półnieskończonym – ciśnienie akustyczne jest postaci

$$p_0(\mathbf{r}) = -i\omega\rho_0 v_0 \int_{S_0} G_2(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) dS_0 \quad (5)$$

w obszarze $a \leq r$. W drugiej drgający tłok w postaci wycinka pierścienia umieszczony jest na płaskiej odgradzie w pobliżu walca półnieskończonego – ciśnienie akustyczne jest postaci

$$p_{1,2}(\mathbf{r}) = -i\omega\rho_0 \begin{cases} \int_{S_1} v_N(\mathbf{r}_0) G_1(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) dS_1 & \text{dla } r < a_1 \\ \int_{S_1} v_N(\mathbf{r}_0) G_1(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) dS_1 + \int_{S_2} v_N(\mathbf{r}_0) G_2(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) dS_2 & \text{dla } a_1 \leq r < a_2 \\ \int_{S_2} v_N(\mathbf{r}_0) G_2(\mathbf{r} | \mathbf{r}_0) dS_2 & \text{dla } a_2 \leq r \end{cases} \quad (6)$$

4. Podsumowanie

Przedstawiono funkcję Greena dla półnieskończonego walca i płaskiej nieskończonej odgrady za pomocą reprezentacji Fouriera. Są one przydatne do dalszych obliczeń ciśnienia akustycznego promieniowanego przez drgającą powierzchnię umieszczoną w pobliżu półnieskończonego walca i płaskiej nieskończonej odgrady.

Literatura

- [1] D.H. ROBEY, *On the radiation impedance of an array of finite cylinders*, JASA, **27**(4), (1955) 706–710.
- [2] J.E. GREENSPON, C.H. SHERMAN, *Mutual radiation impedance and nearfield pressure for piston on a cylinder*, JASA, **36**(1), (1964) 149–153.
- [3] W. RDZANEK, *Mutual acoustic impedance of cylindrical sources for a specific case*, Archives of Acoustic, **5**(1), (1980) 73–80.

Ciśnienie dźwięku promieniowane w polu dalekim przez kołowy tłok
 umieszczony w pobliżu naroża dwuściennego i trójściennego

The sound pressure radiated into the far field by a circular piston located in the vicinity of the two-wall corner and the three-wall corner

Wojciech P. Rdzanek, Krzysztof Szemela, Dawid Pieczonka

Uniwersytet Rzeszowski, Zakład Akustyki, Instytut Fizyki
 Al. Rejtana 16A, 35-310 Rzeszów
 E-mail: alpha@univ.rzeszow.pl

Możliwość przewidywania i obliczania w ściśle teoretyczny sposób rozkładu ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez płaskie źródła dźwięku jest bardzo ważna z praktycznego punktu widzenia. Wiele prac jest poświęconych zagadnieniu związanym z promieniowaniem dźwięku przez płaskie źródła w półprzestrzennym obszarze ograniczonym pojedynczą, sztywną odgródą. Znane są także w tym przypadku przybliżone wzory określające promieniowanie dźwięku w strefie Fraunhoffera [1–6]. Celem tej pracy jest przedstawienie asymptotycznych wzorów opisujących ciśnienie akustyczne promieniowane przez tłok kołowy w obszarze naroża dwuściennego i trójściennego. Przyjęto, że płaszczyzny ograniczające badane obszary stanowią nieskończone, sztywne odgrody, a tłok drga harmonicznie w czasie w płaszczyźnie jednej z odgród. Wykorzystując znane z literatury postaci funkcji Greena dla naroża dwuściennego i trójściennego oraz stosując rozwinięcia w szeregi potęgowe, otrzymano asymptotyczne wyrażenia określające rozkład ciśnienia akustycznego w polu dalekim rozważanych obszarów. W przypadku naroża dwuściennego wzór określający ciśnienie akustyczne otrzymano w następującej postaci

$$\begin{aligned}
 p(r, \varphi, \vartheta) \approx -ik\rho_0 c v_0 a^2 & \left[\frac{\exp[ikQ(0, l)]}{Q(0, l)} \frac{J_1[ka \varepsilon(0, l)]}{ka \varepsilon(0, l)} \right. \\
 & \left. + \frac{\exp[ikQ(0, -l)]}{Q(0, -l)} \frac{J_1[ka \varepsilon(0, -l)]}{ka \varepsilon(0, -l)} \right], \quad (1)
 \end{aligned}$$

gdzie

$$\varepsilon(w, u) = \frac{1}{Q(w, u)} \sqrt{r^2 \sin^2 \vartheta + w^2 + u^2 - 2r \sin \vartheta (w \cos \varphi + u \sin \varphi)}, \quad (2)$$

$$Q(w, u) = \sqrt{r^2 + w^2 + u^2 - 2r \sin \vartheta (w \cos \varphi + u \sin \varphi)},$$

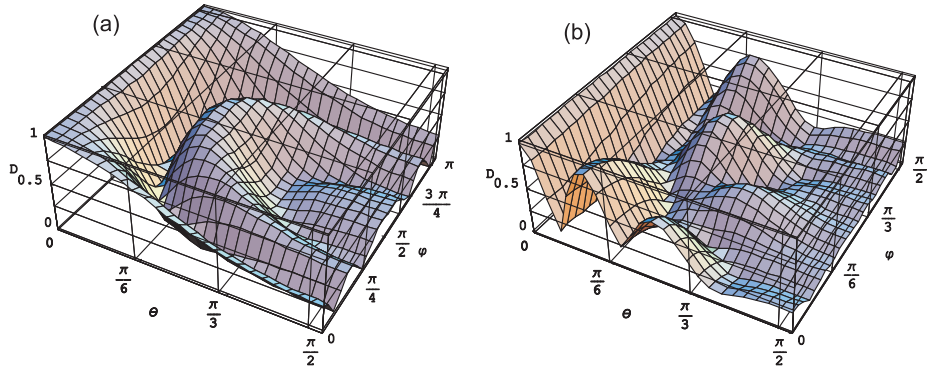
oraz (r, φ, ϑ) – współrzędne sferyczne, a – promień tłoka, ρ_0 – gęstość ośrodka, v_0 – amplituda prędkości drgań tłoka, c – predkość propagacji fali w ośrodku, k – liczba falowa, l – odległość pomiędzy środkiem tłoka a krawędzią odgrody.

W przypadku naroża trójściennego wzór opisujący ciśnienie akustyczne wyraża się następująco

$$p(r, \vartheta) \approx -ik\rho_0 c v_0 a^2 \times \left\{ \frac{\exp[ikQ(l_x, l_y)]}{Q(l_x, l_y)} \frac{J_1[ka \varepsilon(l_x, l_y)]}{ka \varepsilon(l_x, l_y)} + \frac{e^{ikQ(l_x, -l_y)}}{Q(l_x, -l_y)} \frac{J_1[ka \varepsilon(l_x, -l_y)]}{ka \varepsilon(l_x, -l_y)} + \frac{\exp[ikQ(-l_x, l_y)]}{Q(-l_x, l_y)} \frac{J_1[ka \varepsilon(-l_x, l_y)]}{ka \varepsilon(-l_x, l_y)} + \frac{\exp[ikQ(-l_x, -l_y)]}{Q(-l_x, -l_y)} \frac{J_1[ka \varepsilon(-l_x, -l_y)]}{ka \varepsilon(-l_x, -l_y)} \right\}, \quad (3)$$

gdzie l_x oraz l_y są odległościami pomiędzy środkiem tłoka a dwiema prostopadłymi do jego powierzchni odgradami.

Wykorzystując otrzymane wzory przedstawiono graficznie kierunkowość źródła $D = |p(r, \varphi, \vartheta)|/|p(r, \varphi, 0)|$ dla dwóch analizowanych rodzajów naroża [1].



Rysunek 1. Kierunkowość promieniowania D jako funkcja ϑ oraz φ : (a) dla obszaru naroża dwuściennego, (b) dla obszaru naroża trójściennego. Przyjęto: $c = 340$ [m/s], $f = 3\text{kHz}$, $\rho_0 = 1.29$ [kg/m³], $a = 0.052$ [m], $r = 0.75$ [m], $l_x = 0.158$ [m] i $l = l_y = 0.105$ [m].

Literatura

- [1] SKUDRZYK E., *The Foundation of Acoustics*, Vol. I, II of *Basic Mathematics & Basic Acoustics*. Springer-Verlag, Wien, New York (1971).
- [2] MORSE P.M., INGARD K.U., *Theoretical acoustics*. McGraw-Hill, Inc. (1968).
- [3] RAYLEIGH J.W.S., *Theory of sound*. MacMillan (London 1929).
- [4] MAŁECKI I., *Physical foundations of technical acoustics*. Pergamon Press, Oxford (1969).
- [5] RDZANEK W., *Directional characteristic of a circular plate vibrating under the external pressure*, Archives of Acoustics, **15**(1-2), 227–234 (1990).
- [6] SHUYU L., *Acoustic field of flexural circular plates for air-coupled ultrasonic transducers*, Acta Acustica/Acustica, **86**, 388–391 (2000).

Metody perturbacyjne II rzędu w akustyce – nowa metodologia algebraiczna

II-order perturbation methods in acoustics – new algebraic methodology

Jerzy Skrzypczyk

 Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice
 E-mail: jerzy.skrzypczyk@polsl.pl

1. Wstęp

Teoria perturbacji pojawiła się w jednej z najstarszych dziedzin matematyki stosowanej: mechanice nieba. Współczesne zastosowania teorii perturbacji sięgają dzisiaj daleko dalej niż mechanika nieba, ale idea metody pozostała niezmienną. Teoria perturbacji jest dzisiaj częścią nauki o ogromnym znaczeniu teoretycznym i praktycznym. Dokładnie zaczęła się ona w latach 1926/27 wraz z pracami Rayleigh'a i Schrödingera. Obecnie metody perturbacyjne mają ogromną bibliografię liczoną w tysiącach pozycji i pozostają niezmiennie w użyciu.

2. System algebraiczny liczb perturbacyjnych II rzędu

Zdefiniujemy liczbę zwaną dalej liczbą perturbacyjną II rzędu jako trójkę uporządkowaną liczb rzeczywistych $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$. Zbiór liczb perturbacyjnych II rzędu będziemy oznaczać jako $R_{\varepsilon 2}$. Pierwszy element x trójki (x, y, z) jest nazywany wartością główną, drugi y - perturbacją I rzędu, natomiast trzeci z - perturbacją II rzędu. \square

Niech $a, a_1, a_2, a_3 \in R_{\varepsilon 2}$ oznaczają dowolne liczby perturbacyjne II rzędu oraz $a := (x, y, z)$, $a_1 := (x_1, y_1, z_1)$, $a_2 := (x_2, y_2, z_2)$, $a_3 := (x_3, y_3, z_3)$, $x, y, z, x_i, y_i, z_i \in \mathbb{R}$, $i=1,2,3$. Powiemy, że dwie liczby perturbacyjne II rzędu są równe: $a_1 \equiv a_2$ wtedy i tylko wtedy, gdy $x_1 = x_2$, $y_1 = y_2$ oraz $z_1 = z_2$. Dalej będzie stosowana notacja: $a \cdot mv = x$, $a \cdot pv_1 = y$, $a \cdot pv_2 = z$.

Wprowadzimy w zbiorze $R_{\varepsilon 2}$ działania dodawania $(+_{\varepsilon 2})$ i mnożenia $(\bullet_{\varepsilon 2})$:

$$a_1 +_{\varepsilon 2} a_2 := (x_1 + x_2, y_1 + y_2, z_1 + z_2) \quad (1)$$

$$a_1 \bullet_{\varepsilon 2} a_2 := (x_1 x_2, x_1 y_2 + x_2 y_1, x_1 z_2 + z_1 x_2 + y_1 y_2) \quad (2)$$

Zbiór $R_{\varepsilon 2}$ z działaniami dodawania $(+_{\varepsilon 2})$ i mnożenia $(\bullet_{\varepsilon 2})$ określonymi wzorami (1) i (2) i wyróżnionymi elementami: zerowym $0_{\varepsilon 2} := (0, 0, 0)$ i jedynkowym $1_{\varepsilon 2} := (1, 0, 0)$ jest ciałem.

Określone powyżej ciało $R_{\varepsilon 2}$ nie zawiera ciała liczb rzeczywistych \mathbb{R} . Można jednak wykazać, że liczby rzeczywiste mogą być traktowane jako pewne elementy ciała $R_{\varepsilon 2}$, z zachowaniem działań algebraicznych oraz elementów neutralnych dodawania i mnożenia.

3. Notacja uproszczona w rachunku perturbacyjnym

Ponieważ przekształcenie $j: \mathbb{R} \rightarrow R_{\varepsilon 2}$, $j(x) := (x, 0, 0)$ dla każdego $x \in \mathbb{R}$ jest zanurzeniem, więc każdą liczbę perturbacyjną postaci $(a, 0, 0) \in R_{\varepsilon 2}$, $a \in \mathbb{R}$, możemy utożsamić z liczbą rzeczywistą a . Możemy skorzystać z tego utożsamienia w celu wprowadzenia dogodniejszej symboliki dla liczb perturbacyjnych.

Oznaczmy przez ε liczbę perturbacyjną $(0,1,0)$ oraz przez η liczbę perturbacyjną $(0,0,1)$. Załóżmy, że liczba perturbacyjna $(x,0,0)$ będzie identyfikowana z liczbą $x \in \mathbb{R}$, $(y,0,0)$ z liczbą $y \in \mathbb{R}$ oraz $(z,0,0)$ z liczbą z . Wówczas dla dowolnej $(x,y,z) \in \mathbb{R}_{\varepsilon^2}$, mamy

$$(x,y,z) = (x,0,0) +_{\varepsilon^2} (0,y,0) +_{\varepsilon^2} (0,0,z) = x +_{\varepsilon^2} \varepsilon \cdot_{\varepsilon^2} y +_{\varepsilon^2} \eta \cdot_{\varepsilon^2} z \quad (3)$$

Z praw mnożenia wynika, że

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &:= \varepsilon \cdot_{\varepsilon^2} \varepsilon = (0,1,0) \cdot_{\varepsilon^2} (0,1,0) = (0,0,1) = \eta, \\ \varepsilon^3 &:= \varepsilon \cdot_{\varepsilon^2} \varepsilon \cdot_{\varepsilon^2} \varepsilon = \varepsilon^2 \cdot_{\varepsilon^2} \varepsilon = (0,0,1) \cdot_{\varepsilon^2} (0,1,0) = (0,0,0), \end{aligned}$$

i po prostu $\varepsilon^3 = 0$. Jak zwykle będziemy używać skrótu dla $a \cdot_{\varepsilon^2} a_1$ jako aa_1 . Możemy zatem na podstawie powyższych rozważań, że zdefiniowane zostały nowe obiekty. Będą dalej nazywane liczbami perturbacyjnymi II rzędu i są uporządkowanymi trójkami liczb rzeczywistych $(x,y,z) \in \mathbb{R}^3$, które będą zapisywane w następującej formie: $a := x + \varepsilon y + \eta z = x + \varepsilon y + \varepsilon^2 z$.

Zwolennicy „zwykłych” metod perturbacyjnych mogą „działać” na nich tak jak na liczbach rzeczywistych, dodając je, odejmując, mnożąc i dzieląc. Symbol ε będzie pełnił rolę małego parametru II rzędu, przy założeniu, że $\varepsilon^3 = 0$.

4. Przykład

Nowy formalizm matematyczny zastosowano do klasycznego płaskiego problemu perturbacyjnego akustyki teoretycznej. Rozważmy pomieszczenie o wymiarach wewnętrznych 10×5 , założmy, że izotropowe, kierunkowe źródło dźwięku o kącie emisji 30° usytuowane jest w lewym dolnym rogu pomieszczenia. W pomieszczeniu umieszczone są 3 ekrany ochronne i jeden prostokątny element konstrukcyjny. Wszystkie wymiary, położenia oraz współczynniki pochłaniania ścian, ekranów i elementów wewnętrznych mogą zawierać perturbacje II rzędu. Analizowane są wartości perturbacyjne II rzędu poziomu ciśnienia akustycznego w każdym punkcie pomieszczenia przy zastosowaniu opisanej metodologii. Założono, że wartości główne wszystkich parametrów modelu są deterministyczne, natomiast perturbacje I oraz II rzędu są wielkościami losowymi. Założono, że wszystkie wielkości numeryczne są bezwymiarowe.

5. Wnioski

Obliczenia z wykorzystaniem nowych liczb perturbacyjnych prowadzą do aplikacji, które z matematycznego punktu widzenia są równoważne metodom perturbacyjnym II rzędu w klasycznej teorii perturbacji. Zalety nowego systemu algebraicznego są następujące:

- możemy całkowicie pominąć etap złożonych obliczeń analitycznych, które są typowe dla rozwijania aproksymowanych wielkości rozwiązań w szeregi nieskończone. Ta metoda jest skuteczna również dla wielkości nieznanymi – poszukiwanych rozwiązań, jak również dla współczynników perturbacyjnych rozpatrywanego problemu;
- otrzymujemy ogromne uproszczenie wszystkich obliczeń arytmetycznych, które występują zwykle w analitycznym sformułowaniu i analizie problemu;
- większość znanych algorytmów numerycznych może być w prosty sposób adaptowana dla nowego systemu algebraicznego bez większych trudności.

Wraz z nowym systemem algebraicznym otrzymujemy zbiór bardzo prostych narzędzi matematycznych, które można w łatwy sposób wykorzystać w rozważaniach analitycznych oraz w komputerowej części analizy złożonych problemów perturbacyjnych akustyki.

Propagacja fal akustycznych w ośrodku warstwowym:
 nowa metoda perturbacji II rzędu

Acoustic waves propagation problems in layered medium: the new II-order perturbation approach

Jerzy Skrzypczyk, Agnieszka Winkler-Skalna

*Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice
 E-mail: jerzy.skrzypczyk@polsl.pl, agnieszka.winkler@polsl.pl*

1. Wstęp

Konieczność dokładniejszego zrozumienia detekcji sygnałów w akustyce i sejsmologii spowodowała wzrost intensywności badań nad propagacją fal akustycznych. W pracy wykorzystano specjalne liczby perturbacyjne II rzędu, zdefiniowane jako uporządkowane trójki liczb rzeczywistych $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ ze specjalnie zdefiniowaną algebrą.

Równanie Helmholtz'a we współrzędnych cylindrycznych jest spełnione przez ciśnienie akustyczne $p^{(j)}$ dla każdej j -ej warstwy, przy założeniu symetrii radialnej. Założono, że dolna część obszaru cylindrycznego jest sztywna (warunki Dirichleta - I przypadek), zaś górna powierzchnia posiada własności absorbujące lub impedancyjne (warunki brzegowe mieszane - II przypadek). Z fizykalnego punktu widzenia oznacza to, że część pola akustycznego jest odbijana, natomiast część pochłaniana.

2. Model matematyczny

Rozpatrujemy model ośrodka składający się z dwóch warstw. Analizowany jest ośrodek o wysokości h składający się z dwóch warstw o stałej grubości, dolna warstwa ma wysokość d skąd wynika, że górna ma wysokość $h-d$. Warunki brzegowe są sformułowane w położeniach $z=0$, $z=d$ oraz $z=h$. Ciśnienie akustyczne p_j , gęstość ρ_j , prędkość c_j , oraz liczba falowa k_j oznaczają wielkości dla j -ej warstwy, $j=1,2$. Równanie Helmholtz'a ma postać

$$\frac{\partial^2 p^{(i)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p^{(i)}}{\partial r} + \frac{\partial^2 p^{(i)}}{\partial z^2} + k_i^2 p^{(i)} = 0 \quad k_i = \frac{\omega}{c_i}, i=1,2 \quad (1)$$

Zastosujemy metodę rozdzielania zmiennych, t.j. założymy, że $p^{(i)}(r, z) = R(r)\varphi^{(i)}(z)$. Mamy

$$\frac{d^2 \varphi^{(i)}}{dz^2} + (k_i^2 - \lambda) \varphi^{(i)}(z) = 0, \quad i=1,2 \quad (2)$$

Zakładamy, że podstawa cylindra jest swobodna, skąd dla $z=0$ mamy $\varphi^{(1)}(0) = 0$. Z ciągłości ciśnienia na powierzchni $z=d$ wynika $\varphi^{(1)}(d) = \varphi^{(2)}(d)$. Z ciągłości gradientu ciśnienia na powierzchni interfejsu wynika $\frac{1}{\rho_1} \frac{d\varphi^{(1)}(d)}{dz} = \frac{1}{\rho_2} \frac{d\varphi^{(2)}(d)}{dz}$, dla powierzchni sztywnej

$z=h$ dają $\frac{d\varphi^{(2)}(h)}{dz} = 0$. Niech $\gamma_i^2 = k_i^2 - \lambda$, $i=1,2$. Odpowiednie funkcje własne mają postać

$$\varphi_m^{(i)}(z) = A \sin(\gamma_i z), \quad 0 \leq z \leq d \quad (3)$$

$$\Phi_m^{(2)}(z) = A \sin(\gamma_1 d) \frac{\cos(\gamma_2(h-z))}{\cos(\gamma_2(h-d))}, \quad d \leq z \leq h \quad (4)$$

Rozważmy dalej modyfikację ośrodka składającego się z dwóch jednorodnych warstw ograniczonych przez powierzchnię swobodną na podstawie i powierzchnię odbijającą na powierzchni górnej. Równania różniczkowe są takie same. Bez zmian pozostają warunki brzegowe na powierzchniach $z=0$ oraz $z=d$, a warunek brzegowy na powierzchni $z=h$ przyjmuje postać

$$\frac{d\varphi^{(2)}(h)}{dz} + \alpha\varphi^{(2)}(h) = 0 \quad (5)$$

Zauważmy dalej, że jeżeli $\alpha=0$, wówczas warunek odbicia staje się warunkiem „sztywnym”. Wykorzystując warunki brzegowe otrzymamy takie samo równanie (3) oraz

$$\Phi_m^{(2)}(z) = A \sin(\gamma_1 d) \frac{\gamma_2 \cos(\gamma_2(h-z)) + \alpha \sin(\gamma_2(h-z))}{\gamma_2 \cos(\gamma_2(h-d)) + \alpha \sin(\gamma_2(h-d))}, \quad d \leq z \leq h \quad (6)$$

Dla uproszczenia dokonujemy dalej normalizacji wartości własnych.

Weźmy pod uwagę niejednorodny ośrodek warstwowy w którym zarówno dolna, jak i górna warstwa mogą mieć zmienne parametry fizyczne.. Załóżmy, że

$$\Phi = \begin{cases} \varphi^{(1)} & 0 \leq z \leq d \\ \varphi^{(2)} & d < z \leq h \end{cases}, \quad \frac{d^2 \Phi}{dz^2} + k^2 (I + \varepsilon s_0(z) + \varepsilon^2 s_1(z)) = \lambda \Phi, \quad (7)$$

gdzie $s(z) = \varepsilon s_0(z) + \varepsilon^2 s_1(z)$ określa zależność od położenia. Niech dalej $\Phi = \Phi_0 + \varepsilon \Phi_1 + \varepsilon^2 \Phi_2$, $\lambda = \lambda_0 + \varepsilon \lambda_1 + \varepsilon^2 \lambda_2$, gdzie $\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \lambda_0, \lambda_1, \lambda_2 \in \mathbb{R}$. Można wykazać, że

$$\lambda_{1p} = k^2 \langle s_1(z) \Phi_{0p}, \Phi_{0p} \rangle, \quad \lambda_{2p} = k^2 \langle s_1(z) \Phi_{1p}, \Phi_{0p} \rangle + k^2 \langle s_2(z) \Phi_{0p}, \Phi_{0p} \rangle \quad p=1,2,3,\dots \quad (8)$$

$$\Phi_{1p} = \alpha_{pp} \Phi_{0p} + \sum_{i \neq p} \frac{\chi_{pi}}{\lambda_{0i} - \lambda_{0p}} \Phi_{0i}, \quad \Phi_{2p} = \beta_{pp} \Phi_{0p} + \sum_{i \neq p} \frac{\eta_{pi}}{\lambda_{0i} - \lambda_{0p}} \Phi_{0i} \quad (9)$$

Współczynniki χ_{pi} oraz η_{pi} są wyznaczone z rozkładu Fouriera znanych funkcji.

3. Przykład numeryczny

Założmy, że $h=1300$ [m], $d=750$ [m], $c_1=1500$ [m/s], $c_2=1495$ [m/s], $\omega=376.991$ [rad/s], $\rho_1=1.0 \cdot 10^3$ [kg/m³], $\rho_2=1.0 \cdot 10^3$ [kg/m³]. Załóżmy, że w rozpatrywanym przykładzie mamy

$$s_1(z) = \begin{cases} 0 & 0 \leq z \leq d \\ d-z & d < z \leq h \end{cases}, \quad s_2(z) = 0. \quad \text{Jeżeli rozwiążemy na drodze numerycznej}$$

poprzednie równanie, to otrzymujemy całą rodzinę wartości własnych λ_m , $m=1,2,3,\dots$. Wartości wielkości perturbacyjnych pierwszego rzędu λ_1 oraz drugiego rzędu λ_2 dla wartości własnych, w przypadku „sztywnych” warunków brzegowych otrzymujemy z równań (8)-(9).

4. Wnioski

Obliczenia z wykorzystaniem nowych liczb perturbacyjnych prowadzą do zastosowań, które są matematycznie równoważne klasycznym metodom perturbacyjnym II rzędu. Można pominąć złożone obliczenia analityczne, które są typowe dla rozwiązań w postaci szeregów nieskończonych. Otrzymujemy duże uproszczenia operacji arytmetycznych, które występują w analitycznym formułowaniu problemów; większość znanych algorytmów numerycznych może być adaptowana do nowego systemu algebraicznego. Wykorzystaną metodologię można zastosować do bardziej skomplikowanych problemów brzegowych.

Spójny opis propagacji fal akustycznych i elektromagnetycznych w falowodach

Unified description of sound and electromagnetic waves in ducts

A. Snakowska

Instytut Fizyki, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Rejtana 16A, 35-310 Rzeszów

E-mail: asnak@univ.rzeszow.pl

Celem pracy jest przedstawienie spójnego opisu propagacji fal akustycznych i elektromagnetycznych w falowodach przy pomocy potencjałów - potencjału prędkości dla fal akustycznych i potencjałów Hertza dla fal elektromagnetycznych. Opis pola przy użyciu potencjałów jest prostszy i pozwala na wyprowadzenie istotnych analogii akusto-elektromagnetycznych.

Falowody są urządzeniami zdolnymi przenosić energię fali na duże odległości. W akustyce najczęściej rozważa się falowody sztywne i podatne, w teorii fal elektromagnetycznych – falowody o powierzchni przewodzącej.

Potencjał akustyczny $\Phi(\mathbf{r}, t)$ wprowadza się w taki sposób, by równanie Eulera [1] było spełnione tożsamościowo, z czego wynika że ciśnienie akustyczne $p = \rho_0 \partial_t \Phi$, gdzie ρ_0 - gęstość ośrodka, a prędkość drgań $\mathbf{v} = -\nabla \Phi$. Równanie ciągłości przechodzi wówczas w równanie falowe, a dla pobudzenia harmonicznego - w równanie Helmholtza [1]. Zakładając, że oś falowodu pokrywa się z osią z można potencjał fali propagującej się wzdłuż falowodu zapisać w postaci $\Phi(\mathbf{r}, t) = \Phi(x, y) \exp[i(\gamma z - \omega t)]$, gdzie γ jest podłużną liczbą falową. Podstawiając tę postać potencjału do równania Helmholtza otrzymujemy

$$[\Delta(x, y) + \beta^2] \Phi(x, y) = 0, \quad \beta^2 = k^2 - \gamma^2, \quad (1)$$

gdzie β jest poprzeczną liczbą falową. Rozwiązanie tego równania zależy od warunków brzegowych. Dla falowodu o sztywnej powierzchni Σ składowa normalna prędkości drgań $v_n = 0$, czyli warunek brzegowy dla potencjału ma postać $\partial_n \Phi|_{\Sigma} = 0$, a więc jest to warunek brzegowy Neumanna. Na powierzchni falowodu podatnego ciśnienie akustyczne $p = 0$, z czego wynika $\Phi(\mathbf{r}, t)|_{\Sigma} = 0$, czyli warunek brzegowy Dirichleta.

W falowodzie prostokątnym o sztywnych lub podatnych ściankach, dla którego zachodzi $-a < x < a$, $-b < y < b$, $-\infty < z < \infty$ rozwiązania równania (1) mają postać, odpowiednio

$$\Phi_{mn}(x, y, z, t) = a_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{i(\gamma_{mn} z - \omega t)}, \quad \beta_{mn}^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2, \quad (2)$$

$$\Phi_{mn}(x, y, z, t) = a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{i(\gamma_{mn} z - \omega t)}, \quad (3)$$

gdzie a_{mn} - amplituda modu falowego (m, n) , a poprzeczne i podłużne liczby falowe są w obu przypadkach takie same. Dla falowodu cylindrycznego o osi wzdłuż osi z i promieniu a , sztywnego lub podatnego, rozwiązania równania (1) są postaci

$$\Phi_{mn}(\varrho, \varphi, z, t) = a_{mn} e^{im\varphi} J_m(\beta_{mn}\varrho) e^{i(\gamma_{mn} z - \omega t)}, \quad (4)$$

przy czym dla falowodu sztywnego $\beta_{mn} = \mu_{mn}/a$ oraz $J'_m(\mu_{mn}) = 0$, a dla falowodu podatnego $\beta_{mn} = \nu_{mn}/a$ oraz $J_m(\nu_{mn}) = 0$, gdzie $J_m()$ - funkcja Bessela.

Dla fal elektromagnetycznych odpowiednim sposobem wyznaczenia pola w falowodzie przewodzącym są potencjały Hertza [2]. Elektryczny potencjał Hertza Π^E o różnej od zera składowej wzdłuż osi falowodu $\Pi^E = [0, 0, \Pi^E]$ dobrze opisuje fale typu TM (Transversal Magnetic), zwane także falami typu E ($E_z \neq 0$). Potencjał ten wprowadza się w taki sposób, by warunek cechowania Lorentza [2] dla potencjałów pola (A, ϕ) był spełniony tożsamościowo, czyli $A = c^{-2} \partial_t \Pi^E$, $\phi = -\nabla \cdot \Pi^E$.

Potencjał elektryczny Hertza spełnia równanie falowe, a wynikający z równań Maxwella warunek brzegowy na przewodzącej powierzchni falowodu przyjmuje postać $\Pi^E|_{\Sigma} = 0$. Zagadnienie wyznaczenia pola fali elektromagnetycznej typu E (TM) zostało tym samym sprowadzone do rozwiązania równania falowego przy warunku brzegowym jak dla akustycznego falowodu podatnego.

Podobnie wprowadza się magnetyczny potencjał Hertza Π^H , opisujący fale typu TE (Transversal Electric), zwane także falami typu H ($H_z \neq 0$), dla którego warunek Lorentza dla antypotencjałów (A_*, ϕ_*) jest spełniony tożsamościowo [2].

Potencjał magnetyczny Hertza także spełnia równanie falowe, a warunek brzegowy na przewodzącej powierzchni falowodu przyjmuje postać $\partial_n \Pi^H|_{\Sigma} = 0$, tym samym rozwiązanie dla fal typu H (TE) sprowadzono do rozwiązania równania falowego przy warunku brzegowym jak dla akustycznego falowodu sztywnego.

Zgodnie z zasadą, że te same równania mają takie same rozwiązania, możemy napisać

$$\Pi_{mn}^E \leftrightarrow \Phi_{mn}^{\text{podatny}}, \quad \Pi_{mn}^H \leftrightarrow \Phi_{mn}^{\text{sztywny}}, \quad (5)$$

co stanowi akusto-elektromagnetyczne analogie pomiędzy potencjałem prędkości a potencjałami Hertza. Znajomość potencjałów pozwala na wyznaczenie innych wielkości opisujących pole - ciśnienia akustycznego i prędkości akustycznej dla fal dźwiękowych, wektorów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego dla fal elektromagnetycznych. Rozważając same fale, pojawiają się różnice - w akustycznym falowodzie sztywnym może się propagować fala płaska o dowolnej częstotliwości, odpowiadająca potencjałowi $\Phi_{00}^{\text{sztywny}}$. Natomiast wśród fal typu H najniższą częstotliwość odcięcia ma fala H_{11} , ponieważ potencjałowi Hertza Π_{00}^H odpowiada pole o zerowych wartościach natężenia. Dalsze analogie wynikają z analizy, dla poszczególnych rodzajów fal, częstotliwości odcięcia, impedancji [3] i wyrażenia na moc transportowaną.

Literatura

- [1] E. Skudrzyk, *The Foundation of Acoustics*, Springer-Verlag, Wien, New York (1971).
- [2] J. A. Stratton, *Electromagnetic Theory*, Adams Press, New York (2007).
- [3] W. C. Elmore, M. A. Heald, *Physics of waves*, Dover Publications, Inc., New York (1985).

Symulacja komputerowa metod prowadzenia pomiarów akustycznych w symulowanym polu swobodnym

Computer simulation of acoustic measurements methods in simulated free field

Jordan Mężyk

*Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, AGH University of Science and Technology
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: jordan.mezyk@wp.pl*

Komory bezechowe stanowią bardzo kosztowne wyposażenie laboratoriów prowadzących badania akustyczne. W ciągu ostatnich lat zostało rozwiniętych kilka wcześniej znanych już metod symulowania pola swobodnego w celu ominięcia problemu związanego z posiadaniem komór bezechowych. Do tych metod zaliczają się między innymi metody wykorzystujące techniki MLS i TDS. Powstaje jednak pytanie na ile dokładne są to metody, ponieważ w wielu laboratoriach istnieje szereg wymagań co do dokładności otrzymywanych wyników, a już w szczególności w przypadku laboratoriów akredytowanych. Istnieje uzasadniona obawa, że metody te podatne są na duży wpływ zakłóceń zewnętrznych. Autor artykułu przeprowadza symulację komputerową obu wspomnianych metod i podejmuje próbę oceny dokładności tych metod w porównaniu do metody klasycznej z wykorzystaniem wymuszenia w postaci sygnałów sinusoidalnych przy badaniach prowadzonych w komorze bezechowej. Symulacje przeprowadzono w środowisku Matlab przyjmując jako poszukiwane wielkości odpowiedź impulsową lub charakterystykę częstotliwościową obiektu. Badanym symulacyjnie obiektem jest filtr Chebyshewa I rodzaju, a odniesieniem użytym do oceny dokładności metod są poszukiwane wielkości wyznaczone w sposób analityczny. Porównano zarówno dokładność metod jak i ich pracochłonność. Nie należy spodziewać się dokładności pomiarów w polu symulowanym równie wysokiej jak dokładność pomiarów w komorze bezechowej, jednak prostota i szybkość wykonywania pomiarów techniką MLS i TDS jak i niemal dowolny wybór miejsca przeprowadzenia tych pomiarów zachęcają do prób wykorzystania tych metod również w pomiarach laboratoryjnych.

AKUSTYKA NIELINIOWA



NONLINEAR ACOUSTICS

Wytwarzanie harmonicznych w zależności od rozkładu ciśnienia fali pierwotnej

Dependence of harmonic generation on primary wave pressure distribution

Anna Baranowska

*Politechnika Gdańska, Katedra Analizy Matematycznej i Numerycznej
 ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
 E-mail: anbar@mif.pg.gda.pl*

1. Wprowadzenie

Fala sprężysta o dużej amplitudzie rozchodząc się w ośrodku wodnym ulega stopniowemu zniekształceniu. Zmiany kształtu fali są równoznaczne ze zmianą widma. Oznacza to, że podczas rozchodzenia się fali pojawiają się nowe składowe harmoniczne.

W badaniach modelowych do opisu zjawisk propagacji fali o dużej amplitudzie często wykorzystuje się równanie KZK. Opisuje ono zmiany ciśnienia w środowisku nieliniowym i dyssypatywnym w obrębie wiązki akustycznej. Dotychczas nie jest znane rozwiązanie analityczne tego równania. Zmiany harmonicznych ciśnienia fal ulegających słabemu zniekształceniu nieliniowemu można prześledzić stosując metodę kolejnych przybliżeń [1]. Ogólnie równanie KZK należy rozwiązywać metodami numerycznymi [2].

Celem niniejszej pracy jest analiza numeryczna wytwarzania harmonicznych podczas rozchodzenia się w wodzie fal promieniowanych przez źródła kołowe o różnych rozkładach ciśnienia. Do rozwiązania problemu zastosowano metodę bilansu harmonicznych i metodę różnic skończonych.

2. Model matematyczny

Model matematyczny zbudowano w oparciu o równanie KZK [1, 2]

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\varepsilon}{\rho_0 c_0^3} p' \frac{\partial p'}{\partial \tau} - \frac{b}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p'}{\partial \tau^2} \right) = \frac{c_0}{2} \left(\frac{\partial^2 p'}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p'}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Zakładając, że zaburzenie ciśnienia powodujące propagację fali w ośrodku wodnym jest okresową funkcją czasu, rozwiązania równania KZK poszukujemy w postaci:

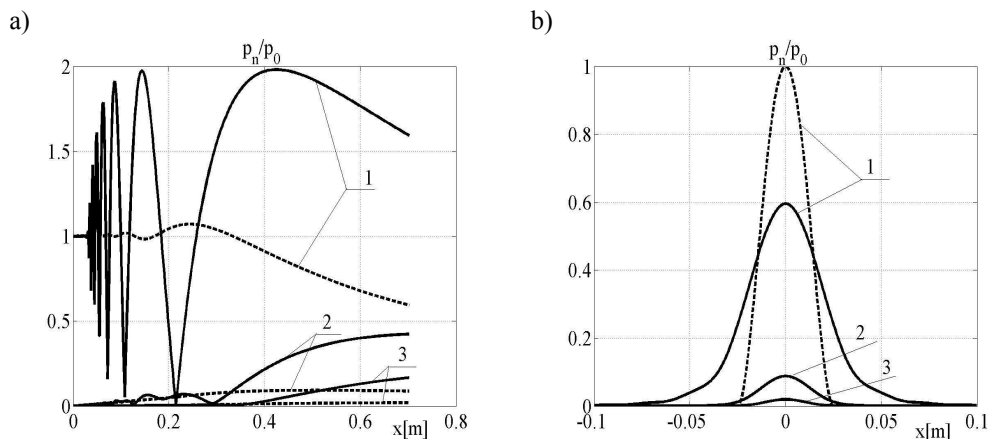
$$p'(x, r, \tau) = 0.5 p_o \sum_{n=1}^N \left(A_n(x, r) e^{in\omega\tau} + c.c. \right) \quad (2)$$

Podstawiając funkcję (2) do równania (1) i porównując amplitudy jednakowych harmonicznych otrzymujemy równania dla amplitud harmonicznych A_n . Do rozwiązania powstałych równań różniczkowych, po uwzględnieniu odpowiednich warunków brzegowych, zastosowano metodę różnic skończonych.

3. Badania numeryczne

Badania numeryczne dotyczyły rozkładów ciśnienia fali pierwotnej oraz wyższych harmonicznnych. Badano zmiany amplitud harmonicznnych fal w osi wiązki, analizowano ich rozkłady w wybranych przekrojach. Rozpatrywano różne rozkłady ciśnienia na źródle w tym rozkład równomierny i typu wielomianowego [1, 2].

Rysunek 1a przedstawia unormowane zmiany amplitudy ciśnienia trzech pierwszych harmonicznnych w osi wiązki wyznaczone dla rozkładu równomiernego (krzywa ciągła) i wielomianowego (krzywa przerywana). Unormowane zmiany amplitud harmonicznnych w przekroju poprzecznym dla rozkładu wielomianowego pokazano na rysunku 1b. Krzywa przerywana przedstawia zmiany amplitudy ciśnienia fali pierwotnej zaś krzywa ciągła pokazuje rozkłady amplitud ciśnienia trzech pierwszych harmonicznnych wyznaczone w odległości $x=0.7$ m od źródła. W obu przypadkach obliczenia wykonano dla fali o częstotliwości $f=1$ MHz i ciśnieniu $p_0=150$ kPa rozchodzącej się w wodzie o parametrach: gęstość $\rho_0=1000$ kg/m³, prędkość propagacji fali $c_0=1500$ m/s, współczynnik nieliniowości $\epsilon=3.5$, współczynnik dyssypatywności $b=0$ (środowisko bezstratne).



Rys.1. Zmiany amplitud ciśnienia pierwszej, drugiej i trzeciej harmonicznnej w osi wiązki (a) oraz w przekroju poprzecznym (b) dla wybranych rozkładów ciśnienia fali pierwotnej

Obliczenia numeryczne wykonano stosując własny program komputerowy opracowany w oparciu o uzyskany model matematyczny. Może być on stosowany do analizy zjawiska propagacji fal wytwarzanych przez źródła kołowo symetryczne. Pozwala on na teoretyczną analizę zmian zarówno składowych harmonicznnych jak i zmian ciśnienia w obrębie wiązki akustycznej. Modele matematyczny i numeryczny można zmodyfikować dla źródeł bez osiowej symetrii.

Literatura

- [1] V.E. Kunicyn, O.V. Rudenko. *Generacija vtoroj garmoniki v pole porsnevo izlucatelya*, *Akusticeskij Zurnal*, **24**(4), 549-555 (1978).
- [2] N.S. Bachvalov, Ja.M. Zilejkin, E.A. Zabolotskaja. *Nieliniejnaja teoria zvukovyh puckov*, Izdatel'stvo Nauka, Moskva (1982).

Ruch wirowy wywołany przez falę akustyczną nieokresową w płynie lepkim

Acoustic streaming induced by the non-periodic sound in a viscous medium

Anna Perelomova

*Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, E-mail: anpe@mifgate.pg.gda.pl*

1. Wprowadzenie

Propagacja dźwięku w ośrodku lepkim wywołuje powstanie przepływu wirowego i dynamiczne ogrzewanie tła. Przyczyną powstania tych wolnych typów ruchów hydrodynamicznych, prócz lepkości, jest nieliniowość przepływu, co pozwala na efektywne transformacje pędu i energii akustycznych w nie akustyczne [1,2]. W odróżnieniu od ogrzewania akustycznego (potoczna nazwa angielska „acoustic heating”), przepływ wirowy („acoustic streaming”) nie może istnieć w przepływach jednowymiarowych. Zagadnienia opisu ruchu wirowego są na ogół bardzo skomplikowane, ze względu na nieliniowość, lepkość i wymiar przepływu. Ciśnienie akustyczne musi z kolei spełniać równanie Chochłowa-Zabolockiej-Kuznecowa dla wiązki z uwzględnieniem dyfrakcji, nieliniowości i lepkości, lecz analityczny opis tego równania to problem dalekiej przyszłości. Siła wywołująca ruch wirowy zawiera nieliniowe człony ciśnienia akustycznego [1].

Tradycyjna metoda wyprowadzenia równań sterujących polega na kombinacji i uśrednieniu równań pędu i ciągłości dla ośrodków nieściśliwych względem okresu dźwięku [1]. To sposób na oddzielenie ruchów wolnych od szybkich akustycznych. Niekonsekwentność tej metody jest przedyskutowana w wielu badaniach [2-4]. Najważniejsze, że mimo to, że dźwięk propaguje się na skutek ściśliwości ośrodka, punktem wyjścia są równania ośrodka nieściśliwego; drugi zaś typ wolnych przepływów, ogrzewanie, nie uwzględnia się, chociaż nasila się z czasem [4,5]. Przewodnictwo cieplne ośrodka także nie może być uwzględnione, bo eliminowanie jednej zmiennej (gęstości) z koniecznością eliminuje równanie balansu energii [1,2].

Rezultatem tradycyjnego podejścia są równania sterujące ruchem wirowym uśrednione względem okresu dźwięku. W wielu zastosowaniach inżynierii i medycyny dźwięk nie jest ściśle okresowy, składa się z serii impulsów, jest modulowany czasowo i przestrzennie [6]. Celem badań autora było wyprowadzenie równań sterujących przepływem wirowym, sprawiedliwych dla dźwięku każdego typu, nie korzystając z uśrednienia względem okresu dźwięku [4,5].

2. Siła wywołująca ruch wirowy w przypadku dźwięku okresowego i nieokresowego

Metoda separacji typów ruchów hydrodynamicznych (modów) z zaburzenia ogólnego, a zarówno separacji poszczególnych równań dynamicznych musi być zgodna z własnościami poszczególnych modów [4,5]. Zastosowania metody w oszacowaniu ruchu wirowego, powstającego na skutek przejścia pojedynczego impulsu, są przedstawione

w pracy [4]. Dalszy rozwój metody analitycznej pozwala na przedstawienie siły radiacyjnej w postaci łatwej do porównania z uśrednioną siłą powstającą na skutek przejścia dźwięku okresowego. Mianowicie, równanie sterujące prędkością ruchu wirowego v w kierunku propagacji wiązki x , ma postać:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + (v\vec{\nabla})\vec{v} - \eta\Delta v_x = F_x = F_{periodic} + F_{class} + F_{add}, \quad (1)$$

$$F_{class} = -\frac{b}{\rho_0^3 c_0^5} \left(p_a \frac{\partial^2 p_a}{\partial t^2} \right), F_{add} = \frac{b}{\rho_0^3 c_0^3} \left(p_a \Delta_{\perp} p_a - \frac{3}{2} \left(\frac{\partial p_a}{\partial r} \right)^2 \right), F_{periodic} = \frac{\partial}{\partial t} \Psi_{acoust},$$

gdzie r, t oznaczają współrzędną w kierunku prostopadłym do osi propagacji w geometrii walcowej i czas, η, b to odpowiednio pierwsza lepkość i całkowita absorpcja, ρ_0, c_0 są gęstość tła i prędkość dźwięku o nieskończonej małej amplitudzie. W części prawej, F_{class} jest składową odpowiadającą znanej sile po uśrednieniu względem okresu dźwięku, wynik uśrednienia $F_{periodic}$ jest zero w przypadku fal okresowych, zaś człon F_{add} jest mały, związany z dyfrakcją. Wzór (1) jest podstawą badań efektów wywoływanych przez dźwięk nieokresowy.

Ogólne wnioski są takie, że im więcej dźwięk odbiega od okresowego, tym większą różnicę wykazują wzory ($\langle F_{periodic} \rangle \neq 0$). Uśrednienie członu F_{add} dla wiązki Gaussowskiej daje ujemny wynik, co może wyjaśnić dane doświadczalne, nieco mniejsze niż to wynika ze wzoru klasycznego [7]. Dla niektórych typów dźwięku wcale nie można wskazać okres, więc jedynym sposobem na oszacowanie prędkości ruchu wirowego jest wyliczenie siły na podstawie nie uśrednionego wyrażenia w części prawej równania (1).

Literatura

- [1] O.V. Rudenko, S.I. Soluyan., *Theoretical foundations of nonlinear acoustics*, Plenum, New York (1977).
- [2] S. Makarov, M. Ochmann. *Nonlinear and thermoviscous phenomena in acoustics*, Part I. *Acustica* **82**, 579-606 (1996).
- [3] Q.Qi. *The effect of compressibility on acoustic streaming near a rigid boundary for a plane traveling wave*, *J. Acoust.Soc.Am.*, **94**, 1090-1098 (1993).
- [4] A. Perelomova. *Acoustic radiation force and streaming caused by non-periodic acoustic source*, *Acta Acustica*, **89**, 754-763 (2003).
- [5] A. Perelomova. *Development of linear projecting in studies of non-linear flow. Acoustic heating induced by non-periodic sound*, *Physics Letters A*, **357**, 42-47 (2006).
- [6] H.C. Starrit., C.L. Hoad., F.A. Duck, et al. *Measurement of acoustic streaming used magnetic resonance*, *Ultrasound in Med. and Biol.*, **26**(2) 321-333(2000).
- [7] T.Kamakura, T.Sudo, et al. *Time evolution of acoustic streaming from a planar ultrasonic source*, *J. Acoust. Soc. Am.*, **100**(1), 132-137 (1996).

Fale o skończonej amplitudzie w tubach akustycznych

Waves with finite amplitude in acoustic horns

Tomasz Zamorski

Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Fizyki, ul. Rejtana 16a, 35-310 Rzeszów
 E-mail: tzamor@univ.rzeszow.pl

1. Wprowadzenie

Zjawiska nieliniowe towarzyszące propagacji fal o amplitudzie skończonej mogą w falowodach przebiegać inaczej niż w ośrodku nieograniczonym [1,2,3]. Wynika to między innymi z faktu, że wiele falowodów charakteryzuje się większą dyspersją niż nieograniczony ośrodek akustyczny. Przedmiotem pracy jest analiza zjawisk nieliniowych w falowodach o sztywnych ściankach i regularnie zmieniającym się przekroju. Są to tzw. tuby akustyczne. Szczególną uwagę zwrócono na propagację fali kulistej o skończonej amplitudzie w falowodzie stożkowym.

2. Równanie fali o skończonej amplitudzie

Przyjęto, że falowód jest wypełniony bezstratnym ośrodkiem gazowym. Ponieważ w tubie, szczególnie w jej wąskiej części, mogą wystąpić znaczne amplitudy fali nie można linearyzować równania Eulera, równania ciągłości i równania adiabaty. Na podstawie tych równań, napisanych dla warstwy ośrodka w tubie, można uzyskać równanie propagacji fali o skończonej amplitudzie [2]:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \left\{ \left[\frac{S(a+\xi)}{S(a)} \right]^{\gamma-1} \left(1 + \frac{\partial \xi}{\partial a} \right)^\gamma \right\}^{-1} \left\{ \frac{\partial}{\partial a} \left[\frac{S(a+\xi)}{S(a)} \right] + \frac{\partial^2 \xi}{\partial a^2} \right. \\ \left. \frac{S(a+\xi)}{S(a)} \quad 1 + \frac{\partial \xi}{\partial a} \right\}, \quad (1)$$

gdzie c adiabatyczna prędkość fali o nieskończenie małej amplitudzie, t czas, ξ przesunięcie cząstki ośrodka, a współrzędna Lagrange'a, γ wykładnik adiabaty, S powierzchnia falowa w tubie.

Równanie (1) można rozwiązać metodą kolejnych przybliżeń mając na względzie warunek brzegowy na wlocie tuby dla $a = x_0$. Przyjęto, że na wlocie drga z pulsacją ω harmoniczne źródło fali:

$$\xi(x_0, t) = B \cos(\omega \cdot t) = \frac{\lambda}{2\pi} A \cos(\omega \cdot t), \quad (2)$$

gdzie λ jest długością fali. Bezwymiarowa amplituda $A = 2\pi M$, gdzie $M = B/\lambda$ jest akustyczną liczbą Macha. Nawet dla bardzo dużych natężeń fali M jest na tyle małe, że można przyjąć z dobrym przybliżeniem $A \ll 1$. Rozwiązanie równania (1) w drugim przybliżeniu dla tuby stożkowej, gdy powierzchnie falowe S mają kształt czasz kulistych, umożliwiło analizę pierwszej i drugiej harmonicznego fali dla przesunięcia i prędkości drgań cząstki akustycznej oraz ciśnienia akustycznego

w tubie. W przypadku nieskończenie długiej tuby, dla fali bieżącej, prędkość drgań u z dokładnością do dwu pierwszych wyrazów rozwinięcia wynosi:

$$u = -c \left[Af(a) \sin(\omega \cdot t) + 2A^2 g(a) \sin(2\omega \cdot t) \right], \quad (3)$$

gdzie

$$f(a) = a^{-\frac{1}{2}} CH_{\frac{3}{2}}^{(2)}(ka) \quad (4)$$

przy czym k jest liczbą falową, $H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(ka)$ funkcją Hankela rzędu $3/2$, a C stałą.

Funkcja $g(a)$ występująca w drugim składniku sumy równania (3) ma postać:

$$g(a) = \frac{\pi}{4\sqrt{a}} \left[Y_{\frac{3}{2}}(2ka) \int \psi \cdot a^{\frac{3}{2}} J_{\frac{3}{2}}(2ka) da - J_{\frac{3}{2}}(2ka) \int \psi \cdot a^{\frac{3}{2}} Y_{\frac{3}{2}}(2ka) da \right] + \sqrt{\frac{x_0}{a}} \left[C_1 J_{\frac{3}{2}}(2ka) + C_2 Y_{\frac{3}{2}}(2ka) \right], \quad (5)$$

gdzie

$$\psi = \frac{2x_0}{\pi \cdot a^3} \left[\frac{9}{(ka)^4} - \frac{17}{(ka)^2} + \frac{\gamma + 7}{2} \right] [C_3 \cos(2ka) + C_4 \sin(2ka)] + \frac{2x_0}{\pi \cdot a^3} \left[\frac{18}{(ka)^3} - \frac{10}{ka} + \frac{\gamma + 1}{2} ka \right] [C_3 \sin(2ka) - C_4 \cos(2ka)] \quad (6)$$

przy czym $J_{\frac{3}{2}}(2ka)$, $Y_{\frac{3}{2}}(2ka)$ są odpowiednio funkcjami Bessela pierwszego i drugiego rodzaju rzędu $3/2$. Stałe $C_1 - C_4$ można wyznaczyć z warunków brzegowych.

Literatura

- [1] Ph. Bequin. *Weak nonlinear propagation of sound in a finite exponential horn*. J. Acoust. Soc. Amer., **109** (6), 2649-2659 (2001).
- [2] T. Zamorski. *Simple waves with finite amplitude in axially symmetrical channels with annular cross-section*. Archives of Acoustics., **19**, 3, 405-418 (1994).
- [3] L.K. Zarembo, W.A. Krasilnikow, *Wwedenje w nelinejnuju akustiku*. Izd. Nauka, Moskwa (1966).

ULTRADŹWIĘKI, AKUSTYKA
KWANTOWA, FIZYCZNE
ODDZIAŁYWANIE DŹWIĘKU



ULTRASONICS, QUANTUM
ACOUSTICS AND PHYSICAL EFFECT
OF SOUND

Częstotliwości akustycznych modów zlokalizowanych w zależności
od stosunku składowych w nanowarstwach Au/V*Frequencies of localized acoustic modes in dependence on mutual relation of
components of Au/V nanolayers*

Mikołaj Aleksiejuk

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
E-mail: maleks@ippt.gov.pl*

Współcześnie rozwijane technologie otrzymywania nanowarstw umożliwiają dobieranie ich parametrów na niespotykanym do tej pory poziomie, pozwalając m.in. na nakładanie pojedynczych warstw atomowych prawie wszystkich materiałów. Otwiera to drogę do wytwarzania nanostruktur z materiałów różniących się parametrami sieci i właściwościami fizycznymi, których efektywne własności można odpowiednio kształtować (inżynieria przerwy zabronionej, inżynieria funkcji falowych, itp.). Nanostruktury takie znajdują zastosowanie jako elementy urządzeń nanofotoniki. W najbliższym czasie prawdopodobnie taki postęp nastąpi także w dziedzinie nanofononiki. W nanostrukturach obserwuje się występowanie zjawisk analogicznych do fotonicznych. Jednym z nich jest istnienie fononicznej przerwy energetycznej (częstotliwościowej) w nanowarstwach periodycznych podwójnych.

W pracy zaprezentowane będą badania dotyczące powstawania poziomów energetycznych oraz ich lokalizacji w obszarze przerwy fononicznej w nanostrukturze metalicznej Au/V. Do opisu akustycznej przerwy energetycznej można stosować model Rytova, opisujący propagację fali akustycznej w strukturze periodycznej [1]. Rytov otrzymał następującą zależność dyspersyjną tj. zależność opisującą częstości propagującej się fali sprężystej od wektora falowego q poprzez parametry materiałowe i wymiarowe warstw składowych tworzących daną nanostrukturę periodyczną [1,2]. Zależność ta jest następująca:

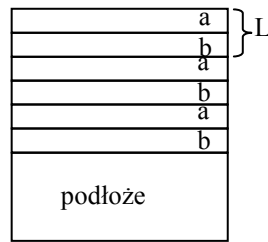
$$\cos(qL) = \cos\left(\omega \frac{a}{c_1}\right) \cos\left(\omega \frac{b}{c_2}\right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} + \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} \right) \sin\left(\omega \frac{a}{c_1}\right) \sin\left(\omega \frac{b}{c_2}\right), \quad (1)$$

gdzie: a, b grubości warstw, c_1 i c_2 prędkości fali podłużnej (lub poprzecznej) w warstwach składowych, ρ_1, ρ_2 gęstości tych warstw. Schemat nanostruktury podany jest na Rys. 1. W takich strukturach przy pobudzeniu powierzchniowym może powstawać fala sprężysta propagująca się w kierunku prostopadłym do powierzchni, w głąb struktury lub drgania w obszarze przypowierzchniowym nanostruktury, w postaci „modu zlokalizowanego” [2,3]. Mody zlokalizowane były obserwowane przez autora w nanowarstwach Au/V [3]. Teoretyczna wartość częstotliwości modu zlokalizowanego została podana przez Djafari-Rouhani [4]. Autor pracy podał zależność częstotliwości modu zlokalizowanego od parametrów warstwy wierzchniej nanostruktury periodycznej [5].

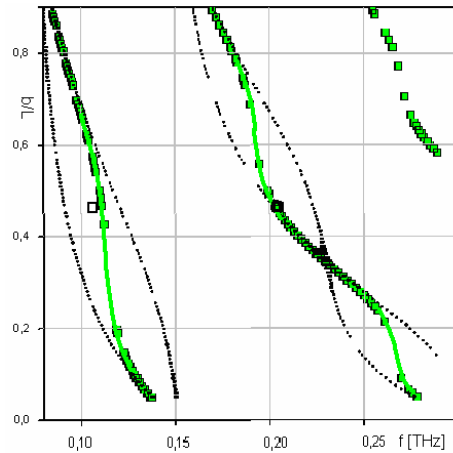
W przypadku nanostruktury jednorodnej wyraża się ona zależnością:

$$p \tan\left(\omega \frac{a}{c_1}\right) + \tan\left(\omega \frac{b}{c_2}\right), \quad (2)$$

gdzie: p stosunek impedancji akustycznych obu materiałów tworzących nanostrukturę. Opierając się na wzorach (1) i (2) obliczono numerycznie zależności częstotliwości modów zlokalizowanych od parametru b/L . Na Rys. 2 podano położenie modów zlokalizowanych odpowiednio w pierwszej i drugiej przerwie energetycznej (linia ciągła) dla nanostruktury Au/V z $L = 205 \text{ \AA}$. Podano także eksperymentalnie uzyskane przez autora wartości częstotliwości modu zlokalizowanego w nanowarstwach Au/V (zaznaczone na rysunkach kwadracikiem).



Rys.1. Schemat struktury warstwowej Au/V .



Rys.2. Zależność częstotliwości 1-go i 2-go modów zlokalizowanych w obszarze przerw fononowych dla nanostruktury Au/V .

Krawędzie akustycznych przerw energetycznych na Rys. 2 zaznaczono liniami kropkowanymi. Interesujące jest zachowanie częstotliwości modu zlokalizowanego w przerwie od parametru b/L . W badanej nanowarstwie w przypadku 1-szej przerwy mod zlokalizowany występował w połowie a dla drugiej na dole przerwy. Widać zgodność obu wartości częstotliwości.

Literatura

- [1] S.M. Rytov. *Akustičeskie svoistva melkosloistoj sredy*. Akust. Zh., **71**, 2 (1956).
- [2] M. Aleksiejuk. Influence of nanolayer geometry on frequency of localized acoustical modes, Archives of Acoustics, **30**, 4(S), 103-106 (2005)
- [3] M. Aleksiejuk, T. Baczewski, B. Bonello, F. Rejmund. *Laser excited 100 GHz localized acoustic modes in Au/V nanolayers structures*. Proc. of SPIE, **5828**, 154-163 (2005)
- [4] B.Djafari-Rouhani, L.Dobrzyński, O Hardoin Duparc, R.E. Camley R.E, A. A. Maradudin. *Sagittal elastic waves in infinite and semi-infinite superlattices*. Phys.Rev., **B28**, 4, 1711-1720 (1983)
- [5] M. Aleksiejuk. *The frequency of localized acoustical modes in Au/V nanolayers with capping layer*. Archives of Acoustics, **31**, 4(S), 41-46 (2006)

Prędkość fal akustycznych w nanowarstwach Ag/Fe

Acoustic wave velocity in Ag/Fe nanolayers

Mikołaj Aleksiejuk, Feliks Rejmund

 Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
 E-mail: maleks@ippt.gov.pl

Metaliczne nanowarstwy są coraz częściej stosowane w nanoelektronice w takich urządzeniach jak: zwierciadła Bragga, elementy pamięci o dużej pojemności, lasery VCSEL itp. W urządzeniach tych wykorzystywane są nowe zjawiska fizyczne niewystępujące w tych samych materiałach w postaci „bulk”. Do takich zjawisk należą: występowanie fononowej przerwy energetycznej (stop band), dużego magnetooporu (giant magnetoresistance), mody zlokalizowane, sprężyste anomalie, itp. Anomalie sprężyste charakteryzują się znacznym wzrostem lub zmniejszeniem stałych sprężystości przy małych grubościach warstwy podwójnej (bilayer) stanowiącej podstawowy element wielowarstwowej nanostruktury. Takie anomalie obserwowano między innymi w nanowarstwach Co/Cu, Fe/Cu [1,2].

Niniejsza praca dotyczy prędkości fali akustycznej, w nanowarstwach Ag/Fe, w zależności od grubości warstwy podwójnej. Własności magnetyczne tego typu nanowarstw były badane przez A. Berger i R.P. Ericsson [3] oraz T. Phalet i innych [4]. Struktura nanowarstwowa Ag/Fe jest przykładem, w której występuje oddziaływanie między warstwami magnetycznymi Fe za pośrednictwem niemagnetycznej warstwy Ag. Podstawowym mechanizmem w opisie właściwości magnetycznych układu stanowi wymienne oddziaływanie RKKY [4].

W pomiarach prędkości fali akustycznej w nanostrukturze Ag/Fe zastosowano technikę pikosekundową. Układ eksperymentalny i sposób pomiaru opisano w pracy [5]. Dokonywano pomiarów zmian współczynnika odbicia światła w funkcji opóźnienia wiązki sondującej w stosunku do pobudzającej. Schemat struktury próbek badanych nanowarstw przedstawiono na rysunku. Próbki Ag/Fe otrzymano metodą molekularnych wiązek epitaksjalnych (MBE). We wszystkich próbkach stosunek grubości warstw srebra do grubości warstw żelaza był stały, $(a/b)=1:1,5$. Parametry próbek i zmierzone prędkości fali akustycznej podane są w tabeli.

n	Ag	a	L	n	10	10	10	15	20	20
	Fe	b		a[Å]	55	45	33	27	23	20
n	Ag	a	L	b[Å]	80	70	50	40	35	30
	Fe	b		grubość nanowarstwy	1400	1200	880	1055	1210	1050
	GaAs			V_{eff} [Å/ps] zmierzone	39	37	37,5	35	30	26

Zgodnie z modelem Rytova [6] w układzie wielowarstwowym periodycznym propaguje się akustyczna fala podłużna o prędkości efektywnej V_{eff} w postaci:

$$V_{eff} = \frac{L}{a/V_1 + b/V_2}, \quad (1)$$

gdzie V_1 i V_2 prędkości fal akustycznych podłużnych w warstwach składowych. Po uwzględnieniu różnicy impedancji akustycznych warstw Z_1 i Z_2 poprzez parametr ε równy:

$$\varepsilon = \frac{Z_2 - Z_1}{(Z_1 Z_2)^{0.5}}, \quad (2)$$

otrzymujemy zmodyfikowaną zależność na prędkość efektywną w postaci:

$$V_{eff} = \frac{L}{\sqrt{(a/V_1 + b/V_2)^2 - \varepsilon^2 \frac{a}{V_1} \frac{b}{V_2}}}. \quad (3)$$

Zależność (3) nie pozwala na interpretację wyników pomiarów prędkości efektywnej zamieszczonych w tabeli. Obserwuje się duże zmniejszenie prędkości V_{eff} dla małych grubości warstwy podwójnej. W celu wyjaśnienia zmian prędkości zastosowano model Grimsditcha [7] będący rozszerzeniem modelu Rytova. Model Grimsditcha był użyty przez Carlotiego do interpretacji zmierzonych metodą rozpraszania Brillouina podobnych zmian prędkości dla nanowarstw Co/Cu [1]. Model zakłada wprowadzenie warstwy pośredniej o współczynniku sprężystości c_{11}^{int} i grubości d_{int} . Stosując model otrzymano zależność teoretyczną c_{11}^{eff} od grubości L dla nanowarstw Ag/Fe. Przebiegi teoretyczny i zmierzony mają podobny charakter aczkolwiek zgodność ilościowa nie jest zadawalająca.

Literatura

- [1] G. Carloti, G. Gubbiotti, L. Pareti, G. Socino, G. Turilli. *Elastic and magnetic properties of Co/Cu multilayers studied by Brillouin spectroscopy*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **165**, 424-427 (1997).
- [2] E.E. Fullerton, I.K. Schuller, E.T. Parker, K.A. Svinarich, G.L. Eesley, R. Bhadra, M. Grimsditch. *Relationship between structural phase transitions and elastic anomalies in metallic superlattices*. J. Appl. Phys., **73**, 11, 7370-7375 (1993).
- [3] A. Berger, R.P. Erickson. *Magnetic phase diagram of ultrathin Fe/Ag(100) films near the reorientation phase transition*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **165**, 424-427 (1997).
- [4] T. Phalet, J. Camps, P. De Moor, P. Schuurmans, N. Severijns, M. Trhlik, A. Van Geert, L. Vanneste, B. Vereecke, W.D. Brewer. *Perpendicular induced magnetic moments of Ag in Ag/Fe multilayers*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **165**, 234-236 (1997).
- [5] M. Aleksiejuk, T. Baczewski, B. Bonello, F. Rejmund. *Laser excited 100 GHz localized acoustic modes in Au/V nanolayers structures*. Proc. of SPIE, **5828**, 154-163 (2005).
- [6] S.M. Rytov. *Akustičeskie svoistwa melkosloistoj sredy*. Akust. Zh., **2**, 1, 71-83 (1956).
- [7] M. Grimsditch. *Effective elastic constants of superlattices*. Phys. Rev. B, **31**, 10, 6818-6819 (1985).

Ultradźwiękowy czujnik chemiczny do wykrywania par węglowodorów alifatycznych i aromatycznych w powietrzu

Ultrasonic chemical sensor for detection of vapors of aliphatic and aromatic hydrocarbons in air

Andrzej Balcerzak*, Genady Zhavnerko**

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Polska Akademia Nauk
ul. Świętokrzyska 2, 00-049 Warszawa

**Instytut Chemii Nowych Materiałów, Białoruska Narodowa Akademia Nauk
Staroborisovsky Trakt 36, Mińsk 220141, Białoruś
E-mail: abalcerz@ippt.gov.pl

1. Wprowadzenie

Niezawodne, czułe i stabilne w pracy czujniki o niewielkich wymiarach znajdują zastosowanie w nauce, technice i przemyśle. Znaczącą grupę wśród takich czujników stanowią czujniki ultradźwiękowe [1]. Pokrycie odpowiednio przygotowanego podłoża piezoelektrycznego właściwie dobraną cienką warstwą, w tym warstwą typu Langmuir'a-Blodgett (L-B) [2], umożliwia pomiar różnych wielkości fizycznych i chemicznych. W pracy przedstawiono czujnik ultradźwiękowy przeznaczony do wykrywania w powietrzu par lotnych związków organicznych (volatile organic compounds – VOC) z grupy węglowodorów alifatycznych i aromatycznych. Wykrywanie obecności VOC w powietrzu ma duże znaczenie dla bezpieczeństwa ludzi i środowiska naturalnego, gdyż pary tych związków często są toksyczne i tworzą z powietrzem mieszaniny wybuchowe.

2. Budowa czujnika ultradźwiękowego, pomiary i wyniki

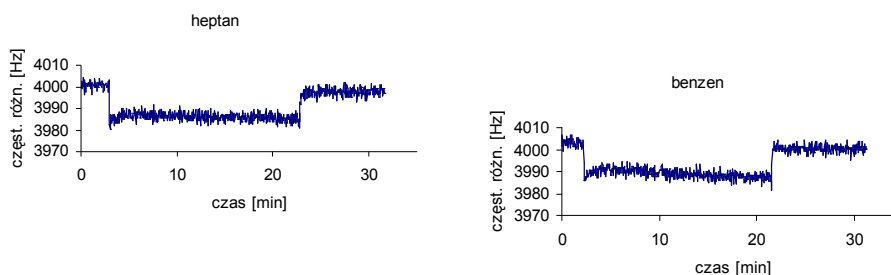
Dokładny opis czujnika ultradźwiękowego, osadzonej na jego powierzchni warstwy, układu pomiarowego oraz sposób wykonywania pomiarów są podane w pracach [3-5].

Po ustabilizowaniu się pracy czujnika, komorę pomiarową wypełniano mieszaniną powietrza i węglowodoru o stężeniu 300 ppm. Rejestrowano odpowiedź czujnika (zmianę częstotliwości różnicowej) w czasie 20 minut. Następnie komorę pomiarową wypełniano czystym powietrzem nie przerywając rejestracji odpowiedzi czujnika. Przykładowe zapisy częstotliwości różnicowej przedstawione są dla heptanu i benzenu na rys.1.

Dokładna analiza otrzymanych wyników pozwoliła na określenie parametrów odpowiedzi czujnika z nanowarstwą DA+CA, które zostały zamieszczone w tabeli 1.

Czujnik wyraźnie reaguje na obecność badanych węglowodorów w powietrzu. Reakcja ta jest odwracalna, bowiem czujnik wraca do stanu wyjściowego po napełnieniu komory pomiarowej czystym powietrzem. Czas reakcji, wyznaczony spadkiem częstotliwości różnicowej po kontakcie czujnika z węglowodorem, wynosi około 2 sekund. Różne wartości parametrów odpowiedzi czujnika na pary badanych węglowodorów pozwalają wysnuć wniosek, że w przypadku węglowodorów alifatycznych zasadniczą rolę odgrywa długość łańcucha wodorowęglowego (im łańcuch dłuższy tym wartości obu parametrów są większe), a dla węglowodorów aromatycznych istotne znaczenie ma obecność podstaw-

ników. Dla badanych węglowodorów aromatycznych wartości spadków częstotliwości różnicowej w czasie są większe niż dla węglowodorów alifatycznych.



Rys. 1. Wykresy zależności częstotliwości różnicowej od czasu dla heptanu i benzeny.

Tabela 1. Parametry odpowiedzi czujnika z nanowarstwą DA+CA na obecność węglowodorów w powietrzu. Stężenie węglowodorów 300 ppm.

Nazwa węglowodoru	Spadek częstotliwości różnicowej po kontakcie z węglowodorem, [Hz]	Spadek częstotliwości różnicowej w czasie po kontakcie z węglowodorem, [Hz/min]
izopentan	5,6	0,055
heksan	9,6	0,040
heptan	13,6	0,075
benzen	7,1	0,145
toluen	12,7	0,170
o-ksylen	18,0	0,080

3. Podsumowanie

Opisany w niniejszej pracy czujnik wykrywa obecność par węglowodorów alifatycznych i aromatycznych w powietrzu przy ich niewielkim stężeniu. Praca czujnika jest odwracalna. Parametry odpowiedzi czujnika zależą od rodzaju węglowodoru. Planowane są analogiczne badania po usunięciu aminy z warstwy chemoczułej, które zmieni strukturę warstwy na porowatą, a zatem, prawdopodobnie, zwiększy jej czułość.

Literatura

- [1] D.S. Ballantine, R.M. White, S.I. Martin, A.J. Rico, E.T. Zellers, G.C. Frye, H Wohltjen, *Acoustic wave sensors*, Academic Press, San Diego 1997.
- [2] K.H. Kang, J.M. Kim, D.K. Kim, S.B.Jung, J.S. Chang, Y.S. Kwon, *Effect of pH on the properties of palmitic acid LB films for gas sensors*, *Sensors and Actuators*, **B 77**, 293-296 (2001).
- [3] A. Balcerzak, F. Rejmund, P. Gutkiewicz P., B. Zienkiewicz, G. Zhavnerko, *Surface acoustics wave (SAW) chemical sensor with Langmuir-Blodgett layer*, *Ceramics*, **89**, 190-195 (2005).
- [3] A. Balcerzak, F. Rejmund, P. Gutkiewicz P., B. Zienkiewicz, G. Zhavnerko, *Ultrasonic chemical sensor with organic monomolecular layer*, *Archives of Acoustics*, **31** (Supplement), 47-52 (2006).
- [5] G. K. Zhavnerko, V.V Filipov, F.M. Severin, T.A. Kuchuk, V.E. Agabekov, *Formation and features of skeletonized structures in two-component Langmuir-Blodgett films*, *J. Coll. Interface Sci.*, **193**, 1-7 (1997).

Ferroelektryczna ceramika typu $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ jako materiał
 dla elektroakustyki

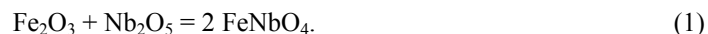
Pb(Fe_{0.5}Nb_{0.5})O₃ ferroelectric ceramics as a material for electroacoustics

Marek Czerwiec, Radosław Zachariasz, Jan Ilczuk

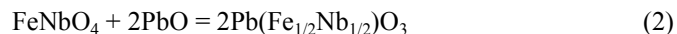
 Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Katedra Materiałoznawstwa
 ul. Żeromskiego 3, 41-200 Sosnowiec, E-mail: rzachari@us.edu.pl

Mieszalniny typu perowskitu są traktowane we współczesnej inżynierii materiałowej jako modelowe materiały o bogatych właściwościach fizycznych i stosunkowo prostej strukturze. Materiały te znalazły wiele zastosowań praktycznych, takich jak np. w pamięciach komputerowych, piroelektrycznych sensorach, piezoelektrycznych przetwornikach i wielowarstwowych kondensatorach. Po raz pierwszy Smolenskii i inni zsyntezowali i otrzymali związek $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ nazywany odtąd jako ceramika PFN. Jest to ceramika ferroelektryczna charakteryzująca się magnetycznym uporządkowaniem o symetrii romboedrycznej ($a=4.017\text{ \AA}$ i $\alpha=89.57^\circ$), posiadająca przemianę fazową w temperaturze Curie wynoszącej około 383K [1–3]. Ceramika $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ (PFN) należy do złożonej rodziny o strukturze typu perowskitu, a jej właściwości elektryczne zależą od częstotliwości. Bardzo niska reaktywność ze srebrem [4], niska temperatura spiekania, łatwa synteza i wysoka przenikalność elektryczna sprawiają, że jest ona interesującym materiałem dla zastosowań we współczesnej elektroakustyce. Obecność żelaza Fe w ceramice PFN prowadzi jednak do wysokiego przewodnictwa i wysokich wartości strat dielektrycznych. Współistnienie zjawiska ferroelektryczności i magnetyzmu w materiałach PFN może mieć z kolei korzyści dla elektromagnetycznych zastosowań w urządzeniach różnego rodzaju. Większość urządzeń, stosowanych w elektronice pracuje bowiem nie tylko wykorzystując pole elektryczne, ale również magnetyczne lub oba pola równocześnie [5].

W prezentowanej pracy otrzymano ceramikę PFN metodą swobodnego spiekania z prostych tlenków PbO , Fe_2O_3 i Nb_2O_5 , które były suszone przez 4 godziny. W pierwszym etapie otrzymano niebian żelaza FeNbO_4 poprzez mieszanie tlenków Fe_2O_3 i Nb_2O_5 w stosunku 1:1. Powyższe składniki były kalcynowane w temperaturze 1273K w czasie 4 godzin. Kalcynacja FeNbO_4 przebiegała zgodnie z reakcją w fazie stałej, tj.:



Następnie niobian żelaza został sproszkowany i zmieszany z tlenkiem ołowiu PbO poprzez reakcję:



w temperaturze 1123K w czasie 4 godzin.

W końcowym etapie mieszanina proszków została wysuszona i uformowana w dyski o wymiarach $(10 \times 1) \text{mm}^3$ i prostopadłościennie płytki o wymiarach $(26 \times 10 \times 1) \text{mm}^3$. Próbki były spiekane metodą swobodnego spiekania w temperaturze 1323K In czasie 2 godzin In atmosferze powietrza. Po zakończeniu procesu technologicznego określono gęstość tak otrzymanych próbek ceramicznych, która wynosiła $\rho = 8.2 \text{kg/m}^3$.

Dla próbek w kształcie dysków wyznaczano temperaturowe zależności przenikalności elektrycznej $\epsilon(T)$ oraz tangensa kąta strat dielektrycznych $\text{tg}\delta(T)$ w procesie nagrzewania przy szybkości 3K/min. Do pomiarów wykorzystano mostek pojemności typu QuadTech 1920 Precision LCR Meter. Pomiaru temperaturowych zależności tarcia wewnętrznego $Q^{-1}(T)$ i temperaturowych zależności modułu Younga $E(T)$ zostały przeprowadzone przy użyciu automatycznego relaksatora częstotliwości akustycznych typu RAK-3 sterowanego komputerem. Prędkość nagrzewania podczas przeprowadzania pomiarów wynosiła 3K/min.

Literatura

- [1] V.A. Bokov, I.E. Mylinikova, G.A. Smolenskii, J. Exp. Theor. Phys. USSR, Phys. Ser **42**, 643 (1962).
- [2] V.A. Isupov, A.L. Agranovskaya, N.P. Khuchua, Bull. Acad Sci. USSR, Phys. Ser. **24**, 1268 (1960).
- [3] G.A. Smolenskii, J. Phys. Soc. Jpn., **28**, 26 (1970).
- [4] C.H. Lu, J.Y. Lin, Ceram. Int., **23**, 223 (1977).
- [5] K. Singh, S.A. Band, Ferroelectrics, **175**, 193 (1996).

Ferroelektryczna ceramika typu PLZT jako materiał na przetworniki

The ferroelectric PLZT type ceramic as a material for transducers

Marek Czerwiec, Radosław Zachariasz, Jan Ilczuk

Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Katedra Materiałoznawstwa
 ul. Żeromskiego 3, 41-200 Sosnowiec, e-mail: marek.czerwiec@orange.pl

1. Wprowadzenie

$\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT) krystalizuje w strukturze ABO_3 , gdzie miejsca A są zajmowane przez jony Pb^{2+} , natomiast jony Zr^{4+} i Ti^{4+} osadzone są w miejscach B struktury typu perowskitu. Wpływ różnego rodzaju domieszek podstawianych w miejsca A i B komórki elementarnej był przedstawiany przez wielu autorów. Związek PLZT ($\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})_{1-x/4}\text{O}_3$) powstaje w wyniku podstawienia jonów La^{3+} w miejscach A komórki elementarnej, zajmowane przez jony Pb^{2+} . Natomiast w miejscach B tworzą się wakansy w celu utrzymania elektrycznie obojętnego charakteru związku. Powszechnie związek PLZT zapisuje się w sposób $x/(1-y)/y$ gdzie odpowiednio podana jest ilość La/Zr/Ti w procentach molowych. Ceramika typu PLZT jest wykorzystywana jako materia na stałe pamięci, przetworniki i modulatory itp. [1-3].

2. Eksperyment

Celem pracy było otrzymanie roztworu stałego PLZT z fazy ferroelektrycznej ze stałym stosunkiem $\text{Zr}/\text{Ti}=50/50$ oraz różną wielkością domieszki jonów La^{3+} :

- $\text{Pb}_{0,95}\text{La}_{0,05}(\text{Zr}_{50}\text{Ti}_{50})_{0,9875}\text{O}_3$ - PLZT 5/50/50
- $\text{Pb}_{0,95}\text{La}_{0,10}(\text{Zr}_{50}\text{Ti}_{50})_{0,975}\text{O}_3$ - PLZT 10/50/50

i zbadanie właściwości elektromechanicznych otrzymanej ceramiki.

Ceramika została otrzymana na drodze reakcji w fazie stałej prostych tlenków: PbO , ZrO_2 , TiO_2 , La_2O_3 metodą swobodnego spiekania. Proszki mieszano i mielono przez 20 godzin, po czym przeprowadzono syntezę sprasowanych pastylek o średnicy 10 mm w temperaturze $T_s = 1123\text{K}$ w czasie $t_s = 6\text{h}$. Następnie polikrystaliczne próbki zostały rozdrobnione a uzyskany proszek ponownie wymieszany, celem uzyskania bardziej jednorodnej struktury. W zależności od składu chemicznego próbki były spiekane w temperaturach od 1223 K do 1523 K w czasie od 6 do 12 godzin. Na powierzchnię tak otrzymanych próbek ceramicznych zostały naniesione elektrody z pasty srebrnej metodą wpalania na gorąco. W dalszej kolejności próbki poddano polaryzacji metodą niskotemperaturową ($T_p = 423\text{K}$, $E_p = 30\text{kV/cm}$, $t_p = 30\text{min}$). Pomiar przenikalności elektrycznej ϵ i tangensa kąta strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ wykonano mostkiem pojemności BM 507/538 Tesla przy częstotliwości pomiarowej 1 kHz, w zakresie temperatur od 295 K do 730 K. Parametry piezoelektryczne wyznaczono z pomiarów przeprowadzonych metodą rezonansu-antyrezonansu w temperaturze pokojowej. Próbki zostały otrzymane zarówno w postaci prostopadłościennych płytek o wymiarach $(30 \times 10 \times 0,9)\text{mm}^3$ jak również w postaci dysków $(10 \times 1\text{mm}^2)$.

Tabela 1. Podstawowe parametry mierzone w temperaturze 293K.

Parametr	Wartość	
% mol La	5	10
współczynnik sprzężenia elektromechanicznego k_p [-]	0,33	0,32
poprzeczny współczynnik sprzężenia elektromechanicznego k_{31} [-]	0,17	0,18
moduł piezoelektryczny $d_{31} \cdot 10^{11}$ [C/N]	2,24	6,36
prędkość dźwięku V_R [m/s]	2446	2030
podatność sprężysta $S_{11}^E \cdot 10^{11}$ [m ² /N]	1,61	1,32
podatność sprężysta $S_{12}^E \cdot 10^{12}$ [m ² /N]	-7,53	-5,06
moduł sprężystości $C_{11}^E \cdot 10^{-10}$ [N/m ²]	6,17	7,56
gęstość ρ [kg/m ³]	7542	7315
współczynnik Poissona ν [-]	0,46	0,38
moduł g_{31} [Vm/N]	0,021	0,0068
częstotliwość rezonansu f_r [kHz]	229	266,2
częstotliwość antyrezonansu f_a [kHz]	239,1	278,1
częstotliwość 1-go overtonu f_r [kHz]	620	689,4

3. Wnioski

Otrzymana ceramika typu PLZT charakteryzuje się niskimi wartościami tangensa strat dielektrycznych $\text{tg}\delta=1\div1,5\%$ oraz wysokimi wartościami przenikalności dielektrycznej $\epsilon=11000\div12000$ (w temperaturze pokojowej). Pomiary temperaturowych zależności przenikalności dielektrycznej ϵ pozwoliły wyznaczyć temperaturę przejścia fazowego (T_C) pomiędzy fazą ferroelektryczną a paraelektryczną. Wartość T_C maleje wraz ze wzrostem domieszki La. Lantan ma także znaczący wpływ na stopień rozmycia przejścia fazowego.

Literatura

- [1] G. H. Haertling, J. Am. Ceram. Soc. **82** (4) (1999) 797.
- [2] C. L. Hulang, B. H. Chen, Wu L., Solid State Comm. **130** (2004) 19.
- [3] E. M Bourim, H. Tanaka, M. Gabbay, G. Fantozzi, B. L. Cheng, J.Appl. Phys. **91** (2002) 6662.
- [4] R. Zachariasz, B. Bruś, J. Bluszczyk, Molecular and Quantum Acoustics **24**, (2003) 249.

Właściwości dielektryczne i piezoelektryczne ceramiki PZT otrzymanej metodą zol-żel

Dielectric and piezoelectric properties of PZT type ceramics obtained by the sol-gel

Monika Dukat, Aldona Zarycka

*Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach
Katedra Materiałoznawstwa, ul. Żeromskiego 3 41-200 Sosnowiec
E-mail: monika_dukat@spi.net.pl*

1. Wprowadzenie

Materiał ceramiczny PZT stanowi stały roztwór o ogólnym wzorze sumarycznym $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$. PZT wykazuje strukturę krystaliczną typu perowskitu. Idealny perowskit jest to tytanian wapnia $CaTiO_3$, rzadki minerał o właściwościach dielektrycznych, strukturze regularnej Pm3m, krystalizujący w wysokiej temperaturze i w podwyższonym ciśnieniu [1-3].

Metoda zol-żel to proces wytwarzania materiałów ceramicznych polegający na przejściu układu z ciekłego zolu (zazwyczaj koloidalnego) w fazę stałego żelu. Wysoka czystość i jednorodność stosowanych surowców wpływa znacząco na właściwości produktów [4-6].

2. Eksperyment

Badanym materiałem były roztwór stały typu PZT o wzorze sumarycznym $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$; z fazy ferroelektrycznej o stosunku $Zr/Ti = 35/65$: $Pb(Zr_{0,35}Ti_{0,65})O_3$, charakteryzujący się strukturą tetragonalną. Materiał ceramiczny PZT otrzymano technologią zolowo – żelową, w drodze reakcji syntezy w fazie ciekłej organicznych soli metali. Otrzymane próbki poddano badaniu właściwości dielektrycznych i piezoelektrycznych, a także scharakteryzowano mikrostrukturę [7, 8].

3. Rezultaty badań

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów sporządzono zależność przenikalności elektrycznej od temperatury $\epsilon(T)$, i tangensa kąta strat dielektrycznych $tg\delta(T)$ dla ceramiki PZT zagęszczanej metodą swobodnego spiekania i prasowania na gorąco. Wartość ϵ wzrasta wraz z rosnącą temperaturą osiągając maksymalną wartość ϵ_m w temperaturze przemiany fazowej T_c wynoszącą dla próbki prasowanej na gorąco 12200, a dla próbki zagęszczanej metodą spiekania swobodnego 9140. Wartość $tg\delta$ w temperaturze T_c dla pola pomiarowego o częstotliwości 2 kHz nie przekroczyła jedności. Parametry piezoelektryczne dla badanego składu ceramiki PZT wyznaczono metodą rezonansu i antyrezonansu. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów obliczono parametry piezoelektryczne ceramiki PZT zagęszczanej metodą prasowania na gorąco. Wartość współczynnika sprzężenia elektromechanicznego k_p wyniosła 0,41, modułu piezoelektrycznego d_{31} jest równa $36,6 \cdot 10^{-12}$ C/N oraz podatność sprężysta S_{11}^E to $1,08 \cdot 10^{-11}$ m²/N [9, 10, 11].

4. Podsumowanie

Badania właściwości roztworu stałego typu $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ pozwalają w szczególności sposób określać parametry dielektryczne i piezoelektryczne oraz możliwości ich stosowania w wielu dziedzinach życia i gałęziach przemysłu. W niniejszej pracy opisano metodę produkcji ceramiki PZT 35/65 w wyniku syntezy zol-żel, a także przedstawiono wyniki własnych badań eksperymentalnych.

Literatura

- [1] A. Szymański, *Mineralologia techniczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
- [2] Z. Surowiak, *Tworzywa ceramiczne o strukturze typu perowskitu jako materiały dla elektroniki*, Ceramika, Polski Biuletyn Ceramiczny, 80, 39 - 50 (2003).
- [3] D. Bochenek, Evgeni G. Fesenko, Viktor G. Gavrilyachenko, *Piezoelektryczne rezonatory na bazie PZT* [w:] *Elektroceramika ferroelektryczna*, pod redakcją Z. Surowiaka, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2004.
- [4] M. Płońska, D. Czekaj, Z. Surowiak, *Zastosowanie metody zolowo-żelowej w technologii ceramicznych nanoproszków ferroelektrycznych 8/65/35 PLZT*, Ceramika, Polski Biuletyn Ceramiczny, 66, 594 – 601 (2001).
- [5] K. Osińska, *Struktura i właściwości fizyczne ceramiki i cienkich warstw ferroelektrycznych PZT, otrzymanych metodą zolowo – żelową* [w:] *Prace Wydziału Techniki 30*, Ferroelektryki tlenowo - oktaedryczne, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 1997.
- [6] K. E. Oczóś, *Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1996.
- [7] B. Bruś, J. Ilczuk, A. Zarycka, M. Czerwiec, *Wpływ technologii otrzymywania na właściwości dielektryczne ceramiki typu PZT*, Ceramika, Polski Biuletyn Ceramiczny, 80, 493 – 498 (2003).
- [8] J. Ilczuk, A. Zarycka, M. Czerwiec, *Synteza i właściwości piezoelektryczne ceramiki typu PZT otrzymanej metoda zolowo – żelową*, Ceramika, Polski Biuletyn Ceramiczny, 89, 116 – 121 (2005).
- [9] R. Zachariasz, M. Czerwiec, *Praktyczne zastosowania ferroelektrycznej ceramiki typu PZT*, Materiały 52 Otwartego Seminarium z Akustyki, Polskie Towarzystwo Akustyczne – oddział Poznański, Poznań – Wągrowiec 2005, s. 211 -214.
- [10] A. Zarycka, B. Bruś, J. Ilczuk, M. Czerwiec, M. Dukat, *The internal friction background In the PZT ceramics obtained by the sol-gel method*, Materials Science – Poland, 2007 (w druku).
- [11] B. Bruś, A. Zarycka, M. Czerwiec, J. Ilczuk, *Relationship between obtaining method and piezoelectric properties of the PZT type ceramic*, Molecular and Quantum Acustics, 27, 63 – 70 (2006).

Obrazowanie trójwymiarowe w mikroskopii ultradźwiękowej

Three-dimensional imaging in ultrasonic microscopy

Krzysztof Dynowski, Jerzy Litniewski, Andrzej Nowicki

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki-PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa**E-mail: Krzysztof.Dynowski@ippt.gov.pl***1. Wprowadzenie**

Postęp jaki ma miejsce w rozwoju nowych technologii stwarza potrzebę przeprowadzania nieinwazyjnych badań materiałowych [1] oraz biologicznych [2,3], które znajdują zastosowanie w badaniach podstawowych i mikrodefektoskopowych [4,5]. Mikroskopia akustyczna umożliwia obrazowanie struktur powierzchniowych i podpowierzchniowych w materiałach nieprzezroczystych dla fali świetlnej, przy czym obrazowanie takie jest badaniem nieniszczącym (ang. non-destructive evaluation). Jednocześnie, mikroskop akustyczny pozwala osiągnąć wymaganą w mikroskopii rozdzielczość obrazowania rzędu pojedynczych μm .

Niniejsza praca przedstawia system do ultradźwiękowego obrazowania trójwymiarowego, który łączy cechy mikroskopu akustycznego B-scan i C-scan. Dane (echa ultradźwiękowe) typu B-scan zebrane podczas skanowania X-Y pozwalają stworzyć trójwymiarowy obraz wewnętrznych struktur badanego materiału.

2. Elementy mikroskopu ultradźwiękowego

Mikroskop ultradźwiękowy zbudowany został z następujących komponentów:

Skaner mechaniczny – umożliwia przemieszczanie wiązki ultradźwięków po badanej próbce. Ruchy XYZ skanera zapewniają silniki krokowe. Jeden krok silnika to $2.5 \mu\text{m}$.

Układ nadawczo-odbiorczy – nadajnik ze wzmacniaczem firmy Panametrics model 5900PR. Układ ten umożliwia nadawanie i odbiór sygnałów w zakresie częstotliwości $100\text{KHz} - 200\text{MHz}$.

Przetwornik ADC – realizuje próbkowanie i zapamiętywanie sygnału w.c.z. Przetwornik może pracować z maksymalną częstotliwością próbkowania 1GHz z 8-bitową rozdzielczością pomiaru wartości sygnału.

Głowica ultradźwiękowa – wykorzystywane są głowice o różnych parametrach (częstotliwości drgań własnych, dł. ogniskowej) w zależności od badanego materiału. Przetworniki wykonano z niobianu litu a ich soczewki ze szkła BK7.

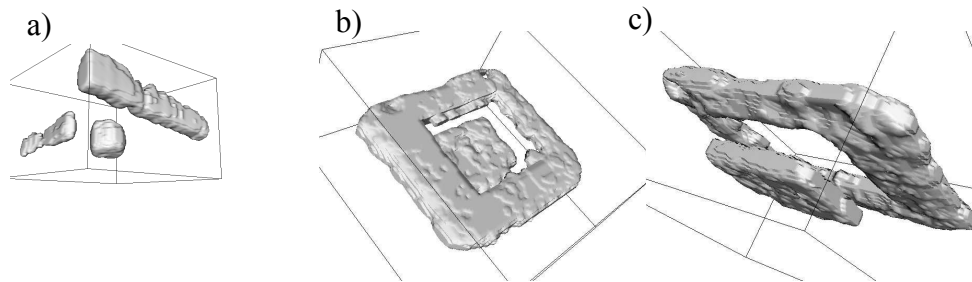
Komputer sterujący (oprogramowanie) – pozwala sterować pracą silników, zbierać dane z karty ADC, a następnie je analizować i przetwarzać.

Oprogramowanie wizualizacyjne – umożliwia przeglądanie i modyfikację danych trójwymiarowych za pomocą filtrów a następnie przetworzenie ich na grafikę wektorową z wykorzystaniem biblioteki VTK (Visualisation Toolkit) i w efekcie na w pełni trójwymiarową prezentację obrazowanych struktur. Oprogramowanie w całości powstało w Zakładzie Ultradźwięków IPPT-PAN.

3. Analiza, przetwarzanie i wizualizacja

Wstępna analiza danych pozwala na precyzyjne ustawienie głowicy nad próbką, określenie zakresu obszaru skanowania (XY) oraz wyznaczenie zakresu głębokości z jakiej rejestrowane będą sygnały ultradźwiękowe sondujące badaną próbkę.

Przetwarzanie polega na stosowaniu filtrów [6] (wartości progowej, zakresu, wygładzania, jasności) na całym obrazie lub jego fragmentach i ma na celu przygotowanie danych do wizualizacji trójwymiarowej z wykorzystaniem triangulacyjnego algorytmu detekcji powierzchni [7]. W efekcie powstaje wektorowy, trójwymiarowy obraz wykrytych obiektów (ang. iso-surface). Na rys. 1 przedstawiono końcowy efekt przetwarzania danych trójwymiarowych zebranych przy częstotliwości pracy mikroskopu 100MHz z (a) próbki testowej zbudowanej z zatopionych w masie epoksydowej elementów stalowych (kulka, promień $r=0,5\text{mm}$ i drut, średnica $\phi=0,25\text{mm}$) oraz (b,c) oraz wnętrza układu scalonego AM1702.



Rys. 1. Wizualizacja trójwymiarowa.

Literatura

- [1] A. Briggs. *Advances in Acoustic Microscopy*, Vol. I, II of *Plenum Press*, New York, (1995,1996)
- [2] J. Litniewski, J. Bereiter-Hahn, *Measurements of cells in culture by scanning acoustic microscope*, *Journal of Microscopy*, pp. 158,95-107 (1990).
- [3] J. Litniewski, A. Sawicki, *Parametric imaging of a trabecular bone by scanning acoustic microscope*, *International Symposium on Hydroacoustics and Ultrasonics-EAA Symposium*, Gdańsk, pp. 199-204, (1997)
- [4] J. Litniewski, *Subsurface imaging of samples by SAM*, *Archives of Acoustics*, 19, 4, pp. 487-493, (1994)
- [5] J. Litniewski, *An Acoustic Microscope for Microflaw Inspection and Subsurface Imaging*, *Archives of Acoustics*, 26, 1, pp. 25-36, (2001)
- [6] N. Nikolaidis, I. Pitas, *3-D Image Processing Algorithms*, Wiley-Interscience Pub., New York, (2001).
- [7] W.J. Schroeder, B. Geveci, M. Malaterre, *Compatible Triangulations of Spatial Decompositions*, In *Proceedings of Visualization 2004*, IEEE Press October 2004.

Ultradźwiękowe własności jonowej ferrocieczy o niskiej koncentracji

Ultrasonic characterization of low concentrated ionic ferrofluid

Arkadiusz Józefczak

*Instytut Akustyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań**E-mail: aras@amu.edu.pl***1. Wprowadzenie**

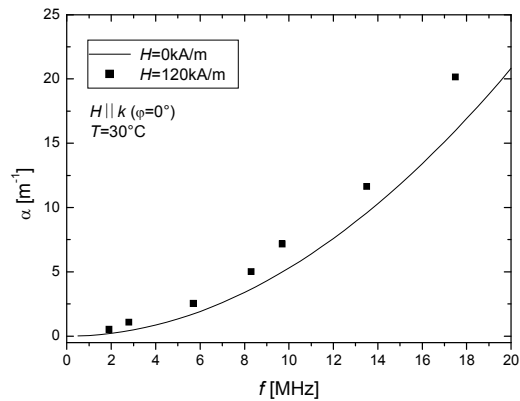
Ferrociecz to jednorodna zawiesina jednodomenowych nanocząstek magnetycznych w cieczy nośnej. Zapobieganie agregacji cząstek w jonowej ferrocieczy następuje elektrostatycznie poprzez naładowane elektrycznie cząstki magnetyczne. Struktura cieczy ulega przebudowie po poddaniu jej działaniu zewnętrznego pola magnetycznego. Oddziaływanie pola magnetycznego powoduje porządkowanie momentów magnetycznych cząstek a także ich agregację (tworzenie się klastrów).

Spektroskopia ultradźwiękowa jest z powodzeniem stosowana do monitorowania procesu tworzenia się agregatów w emulsjach i zawiesinach [1]. W niniejszej pracy wykorzystano ją do badania zmian struktury ferrocieczy podanej działaniu pola magnetycznego o natężeniu $H=120$ kA/m.

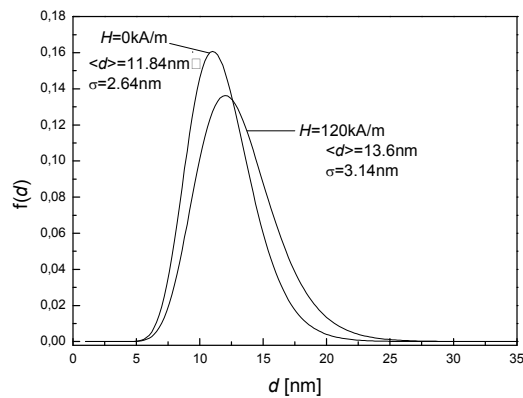
2. Wyniki badań

Badana ferrociecz składała się z cząstek magnetytowych Fe_3O_4 zawieszonych w wodzie. Stężenie nanocząstek wynosiło 30 mg/ml. Pomiar rozkładu rozmiarów cząstek zostały przeprowadzone za pomocą mikroskopu sił atomowych AFM [2]. Średnia średnica wynosi 11.84 nm. Posiadając te dane i własności termodynamiczne składników ferrocieczy można obliczyć współczynnik pochłaniania fali ultradźwiękowej wykorzystując teorię Harkera i Templa [3]. Zastosowanie pola magnetycznego powoduje zmianę pochłaniania fali akustycznej. Dysponując wynikami α w funkcji częstotliwości dla określonego pola magnetycznego można poszukiwać rozkładu rozmiarów agregatów, które daje najlepsze dopasowanie pomiędzy pomiarami eksperymentalnymi a przewidywaniami uzyskanymi z teorii. Rysunek 1 przedstawia współczynnik pochłaniania fali ultradźwiękowej w funkcji częstotliwości dla natężenia pola $H=120$ kA/m, natomiast rysunek 2 przedstawia rozkład rozmiarów agregatów uzyskanych za pomocą spektroskopii ultradźwiękowej.

Uzyskane rezultaty pokazują, że w badanej cieczy pole magnetyczne powoduje niewielką zmianę rozkładu. Prawdopodobnie tylko niewielka ilość cząstek połączyła się w niewielkie agregaty złożone z kilku cząstek. Średnia wartość średnicy zmienia się nieznacznie w granicach błędu, dlatego można powiedzieć, że ciecz wykazuje dużą stabilność w polu magnetycznym a sam proces agregacji można pominąć.



Rys. 1. Współczynnik pochłaniania fali ultradźwiękowej w funkcji częstotliwości dla natężenia pola $H=120$ kA/m.



Rys. 2. Rozkład rozmiarów klastrów uzyskanych za pomocą spektroskopii ultradźwiękowej dla pola $H=120$ kA/m

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr 4 T0B 04130 i N202 097 32/2406.

Literatura

- [1] C.M. Bryant, D.J. McClements, *Ultrasonic spectrometry study of the influence of temperature on whey protein aggregation*. Food Hydrocolloids 13, 439–444 (1999).
- [2] B. Zieliński, A. Skumiel, A. Józefczak, *Experimental investigation of CoFe_2O_4 particle size and acoustic properties of magnetic fluid*. Arch. Acoustics., 31 (supl.), 165-170 (2006).
- [3] A.H. Harker, J.A.G. Temple, *Velocity and attenuation of ultrasound in suspensions of particles in fluids*. J. Phys. D: Appl. Phys. 21, 1576-1588 (1988).

Obrazowanie ultrasonograficzne z wykorzystaniem częstotliwości średniej ech

On the using instantaneous frequency of RF signals in medical imaging

Ziemowit Klimonda, Andrzej Nowicki

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049, Warszawa
E-mail: zklim@ippt.gov.pl*

1. Wstęp

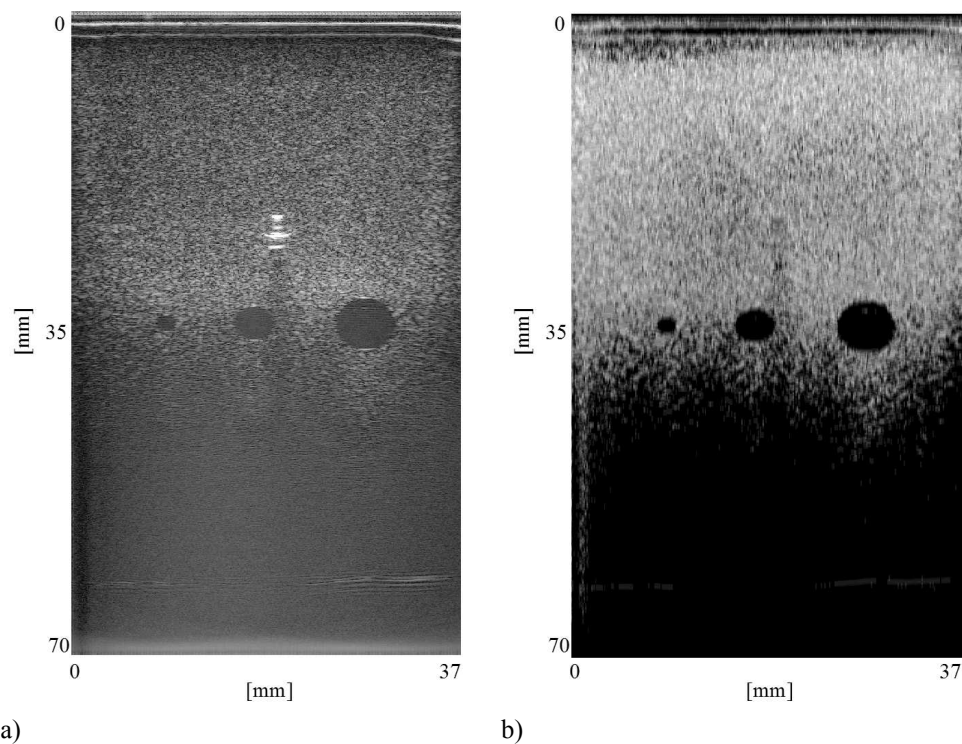
W standardowej ultrasonografii obraz narządów odpowiada rozkładowi współczynnika odbicia w tkance, a większość informacji zawartej w widmie ech jest tracona w procesie detekcji obwiedni. Informacja ta może być interesująca z punktu widzenia diagnostyki medycznej ponieważ zmiany częstotliwości związane są z tłumieniem [1], a tłumienie jest związane z rodzajem i stanem tkanki [2]. W pracy podjęto próbę obrazowania rozkładu tłumienia ośrodka na podstawie oceny częstotliwości chwilowej ech ultradźwiękowych w funkcji głębokości.

2. Eksperyment

Częstotliwość chwilowa echa ultradźwiękowego może być opisana zależnością (1)

$$f = \frac{d}{dt} \arctg(Q/I) \quad (1)$$

gdzie I i Q są odpowiednio składową synfazową i kwadraturową odbieranych ech ultradźwiękowych. Wyznaczona w ten sposób częstotliwość chwilowa rzeczywistego sygnału jest wielkością podlegającą bardzo dużym wahaniom, dlatego zazwyczaj wymagana jest filtracja typu średniej ruchomej. W pomiarach użyto fantomu Gammex RMI405GSX i ultrasonografu Siemens Antares z liniową głowicą o częstotliwości 10 MHz oraz modułem badawczym Axius Direct Ultrasound Research Interface umożliwiającym rejestrację przebiegów RF. Na rysunku 1 przedstawione są obrazy cyst w fantomie tkankowym w prezentacji B i w prezentacji obrazującej częstotliwość chwilową sygnału RF. Jak widać górna część rysunku obrazującego rozkład częstotliwości ma znacznie większą jasność niż dolna. Jest to spowodowane tłumieniem, jakiemu podlega sygnał ultradźwiękowy, w wyniku którego częstotliwość środkowa impulsu ulega przesunięciu w kierunku niższych częstotliwości. Widać też lepszą dynamikę w prezentacji przy pomocy częstotliwości chwilowej – różnica dynamiki w przypadku największej z cyst jest ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu z prezentacją typu B.



a) Rys. 1 Cysty w fantomie – obraz typu B (a) i zobrazowana częstotliwość chwilowa sygnalów RF (b) – jasność pikseli jest proporcjonalna do częstotliwości .

3. Wnioski

Uzyskane wyniki pokazują, że częstotliwość chwilowa może być interesującym parametrem z punktu widzenia diagnostyki ultradźwiękowej. Cysty zobrazowane są z większą dynamiką niż w obrazie typu B. Wstępne wyniki są zachęcające i przewidujemy dalszy rozwój metody obrazowania tłumienia tkanek i jej fuzji ze standardowymi obrazami USG.

Literatura

- [1] A . Nowicki. *Diagnostyka ultradźwiękowa* MAKmed (2000).
- [2] B. J. Oosterveld, J. M. Thijssen, P. C. Hartman, R. L. Romijn, G. J. E. Rosenbush. *Ultrasound Attenuation and Texture Analysis of Diffuse Liver Disease: Methods and Preliminary Results*. Phys. Med. Biol. **36**(8), 1039-1064 (1991).

Uniwersalny system ultrasonografii kodowanej z przetwarzaniem softwarowym

Universal coded ultrasound imaging system with software processing

Marcin Lewandowski, Andrzej Nowicki

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
E-mail: mlew@ippt.gov.pl*

1. Wstęp

Transmisja kodowana jest techniką umożliwiającą zwiększenie zasięgu obrazowania oraz kontrastu obrazu (stosunku sygnał-szum) bez konieczności zwiększania ciśnienia akustycznego sygnałów nadawczych [1]. Zastosowanie transmisji kodowanej w ultradźwiękowych urządzeniach obrazujących wymaga poważnych zmian w elektronicznym torze nadawczo-odbiorczym oraz w systemie i algorytmach cyfrowego przetwarzania sygnału. Do celów ewaluacji i badań transmisji kodowanej w zakresie standardowej i wysokiej częstotliwości (20–40 MHz) zostało opracowane zupełnie nowe urządzenie.

2. Opis systemu

Urządzenie składa się z modułu koder-digitalizera oraz oprogramowania przetwarzania i wizualizacji. Moduł realizuje funkcje generacji sygnałów kodowanych oraz digitalizacji odbieranych ech z prędkością do 200×10^6 próbek/sek. Koder potrafi generować arbitralne przebiegi kodowane — w tym sygnały z modulacją częstotliwości (np. chirp) oraz fazy (np. Barker, Golay), a także wspiera podwójne nadawanie dla par kodów Golaya. Układ digitalizera z wewnętrznym buforem 8000 próbek umożliwia akwizycję sygnału w.cz. w trybie linia-po-linii. Moduł komunikuje się z komputerem PC przez interfejs USB 2.0, co pozwala na transmisję strumienia zcyfrowanych ech z prędkością do 30 MB/s. Zastosowanie najnowocześniejszych układów elektronicznych pozwoliło na znaczną miniaturyzację systemu.

Całość cyfrowego przetwarzania sygnału w.cz. jest realizowana softwarowo na komputerze PC. Zadania obliczeniowe zostały podzielone pomiędzy jednostkę główną komputera PC i procesor graficzny. Algorytm kompresji ech (filtracji dopasowanej) został zrealizowany na procesorze głównym, w dziedzinie częstotliwości przez mnożenie transformat FFT, ponieważ klasyczny algorytm obliczania korelacji w dziedzinie czasu wymaga zbyt dużej mocy obliczeniowej do praktycznej realizacji [2]. Korekcja geometrii sektora (scan-converter) oraz filtracja obrazowa została zaimplementowana na procesorze graficznym [3]. Zaproponowana zbalansowana architektura przetwarzania pozwoliła na uzyskanie obrazowania w czasie rzeczywistym z prędkością do 30 obrazów/sek (obecnie ograniczone do 10 obrazów/sek ze względu na przepustowość transmisji USB).

3. Wyniki

Poprawność działania systemu i oprogramowania została zweryfikowana dla różnych pobudeń (klasycznych i kodowanych) w układzie pętli elektrycznej — wyjście kodowane podłączone bezpośrednio do wejścia akwizycji ech. Następnie porównano stosunek sygnał-szum oraz rozdzielczość podłużną przy pobudzeniu klasycznym pojedynczym okresem sinusoidy oraz 16-bitowymi kodami Golaya metodą echa od idealnego reflektora. Badania przeprowadzono w wodzie z warstwą materiału symulującego tkankę poprzedzającego reflektor. Zastosowano mechaniczną głowicę sektorową wyposażoną w pojedynczy przetwornik z grubych warstw na 25 MHz i paśmie 75%. Dla 16-bitowych kodów Golaya otrzymano zysk stosunku sygnał-szum (w stosunku do pobudzenia klasycznego 1 okres) +15 dB dla 20 MHz i +16 dB dla 35 MHz. Rozdzielczość podłużna mierzona w połowie maksimum wyniosła 35 ns dla 20 MHz i 25 ns dla 35 MHz i był identyczna dla obu rodzajów pobudeń. Wyniki te pokazują wyraźnie, że za pomocą kodów Golaya można odzyskać rozdzielczość przy jednoczesnym znaczącym zwiększeniu stosunku sygnał-szum. Dzięki zastosowaniu szerokopasmowego przetwornika było możliwe niemal podwojenie częstotliwości nadawania i uzyskanie znacznie lepszej rozdzielczości. Jakość uzyskanych obrazów (zarówno kontrast, jak i rozróżnialność szczegółów) dla kodów Golaya 35 MHz była dużo lepsza niż dla 20 MHz przy pobudzeniu klasycznym.

4. Podsumowanie

Opracowany uniwersalny cyfrowy system nadawania, akwizycji i przetwarzania sygnałów w.cz. pozwala na ewaluację i badanie szerokiej klasy zagadnień, w tym transmisji kodowanej. Duże możliwości programowania parametrów pracy urządzenia, w szczególności generacji pobudeń kodowanych o arbitralnym kształcie, pozwolą na realizację badań porównawczych różnych kodów oraz na optymalizację ich parametrów przy zachowaniu warunków pomiarowych. Niewielkie rozmiary i przenośność systemu umożliwią także testowanie i ewaluację nowych technik obrazowych przez lekarzy.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005–2008 jako projekt badawczy.

Literatura

- [1] T.X. Misaridis, K. Gammelmark, C.H. Jorgensen, N. Lindberg, A.H. Thomsen, M.H. Pedersen, J.A. Jensen. *Potential of coded excitation in medical ultrasound imaging*. Ultrasonics, **38**, 183–189, (2000).
- [2] M. Lewandowski, A. Nowicki. *Softwarowa realizacja algorytmu kompresji ech w ultrasonografii kodowanej*. 52 Otwarte Seminarium z Akustyki, Poznań—Wągrowiec, (2005).
- [3] M. Lewandowski, A. Nowicki. *High Frequency Coded Imaging System with Full Software RF Signal Processing*. IEEE International Ultrasonics Symposium, Vancouver, Canada, (2006).

Emisja akustyczna i efekt Portevin - Le Châtelier w próbie rozciągania stopów Al przetworzonych za pomocą techniki ARB

Acoustic emission and the Portevin – Le Châtelier effect in tensile tested Al alloys processed by ARB technique

Andrzej Pawełek*, Jan Kuśnierz*, Joanna Bogucka*, Zbigniew Ranachowski**

*Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, im. Aleksandra Krukowskiego
Polska Akademia Nauk, ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków

**Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Polska Akademia Nauk
ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa, E-mail: nmpawele@imim-pan.krakow.pl

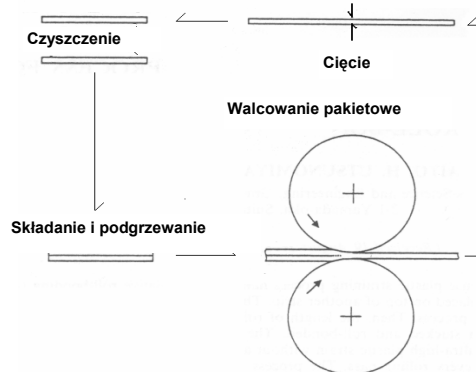
1. Wprowadzenie i metodyka badań

Metody intensywnego odkształcenia są coraz bardziej powszechnie stosowane w celu uzyskania rozdrobnienia mikrostruktury i otrzymania ultradrobnokrystalicznej (nanokrystalicznej) wielkości ziarna prowadzącej do wzrostu wytrzymałości mechanicznej i ciągliwości przetwarzanego materiału. Takie metody umożliwiają również otrzymanie masywnych próbek metali, gotowych do dalszego przerobu. Dotyczy to w szczególności metody walcowania pakietowego ze spajaniem, czyli tak zwanego walcowania akumulacyjnego ARB (Accumulative Roll-Bonding [1-2]).

Rys.1 przedstawia schemat techniki ARB. Oczyszczone i odtłuszczone powierzchnie dwóch blach są składane i mocowane, a następnie podgrzewane i walcowane do zgniotu $z=50\%$. Otrzymana po walcowaniu blacha przecinana jest na połowy i poddawana takiej samej procedurze jak poprzednio.

Procedura może być kontynuowana wielokrotnie. Przykładowo blacha o grubości g_0 poddana kolejno n razy walcowaniu do zgniotu $z=50\%$, czyli po n przepustach, będzie miała grubość $g_n = g_0/2^n$, a całkowity zgniot będzie równy $z_n = 1 - g_n/g_0 = 1 - 1/2^n$.

Celem pracy jest zastosowanie i analiza metody ARB pod kątem badań związków pomiędzy zachowaniem się emisji akustycznej (EA) a przebiegiem zjawiska niejednorodnego odkształcenia Portevin – Le Châtelier (PL) zachodzącego podczas próby rozciągania w stopach Al typu PA2 przed i po obróbce ARB.

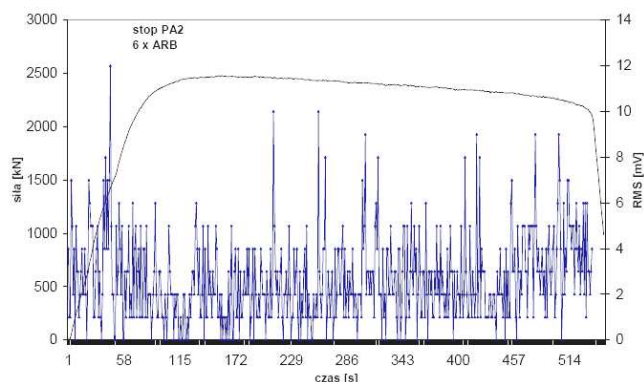


Rys.1. Schemat walcowania akumulacyjnego ARB

2. Wyniki i dyskusja

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań związków pomiędzy własnościami mechanicznymi (np. wytrzymałość, mikrostruktura, tekstura) a sygnałami EA

generowanymi w próbie rozciągania stopów aluminium PA2. Pokazano, że występują istotne korelacje pomiędzy efektami EA i PL w stopach nieprzetworzonych. Natomiast dla stopów przetworzonych testy rozciągania przeprowadzono dla sześciu próbek o różnych zgniotach uzyskanych po kolejnych przepustach numerowanych od $n=1$ do $n=6$. Zaobserwowano, że maksimum plastyczności występuje dla próbek uzyskanych po przepustach $n=5$ i $n=6$, podczas gdy aktywność i intensywność EA nie jest już tak bardzo wyraźna jak w przypadku próbek nieprzetworzonych. Przykładowo Rys.2 przedstawia korelacje pomiędzy efektami PL i EA. Pikom EA w postaci parametru RMS (Root Mean Square) odpowiadają lokalne spadki siły (w tej skali słabiej widoczne), charakterystyczne dla zjawiska PL. Dzięki zastosowaniu nowoczesnego oprogramowania przeprowadzono również analizę spektralną sygnałów EA, umożliwiającą wykonywanie map akustycznych (akustogramów) i charakterystyk widmowych, bardzo pomocnych w dyskusji dotyczącej



Rys.2. Korelacje pomiędzy zachowaniem się EA a przebiegiem siły podczas efektu PL w próbie rozciągania stopu PA2 przetworzonym po $n=6$ przepustach metodą ARB.

relacji pomiędzy mechanizmami niejednorodnego odkształcenia efektu PL a mechanizmami generowania zdarzeń EA. Przedstawione wyniki są dyskutowane w kontekście istniejących w literaturze dyslokacyjnych modeli efektu PL (np. [3,4]) oraz teoretycznych koncepcji przyczyn generowania EA podczas odkształcenia plastycznego metali (np. [5]).

Niniejsza praca została sfinansowana w ramach projektu badawczego KBN Nr 3 T08A 032 28 oraz częściowo również w ramach projektu badawczego MNiSW Nr N507 056 31/1289

Literatura

- [1] X. Huang., N. Tsuji, N. Hansen, Y. Minanimo. *Microtexture of lamellar structure in Al heavily deformed by accumulative roll-bonding*. Mat. Sci. Forum, **408-412**, 715 (2002).
- [2] J. Kuśnierz, J. Bogucka. *ARB of al 99.8%*. Arch. of Metallurgy—in press
- [3] R. Pascual. *Acoustic emission and dislocation multiplication during serrated flow of an aluminium alloy*. Scripta metall., **8**, 1461-1466 (1974).
- [4] A. Pawełek. *On the Dislocation-Dynamic Theory of the Portevin-Le Chatelier Effect*. Z. Metallkde, **80**, 614-618 (1989).
- [5] A. Pawełek, A. Piątkowski, Z. Jasiński, S. Pilecki. *Acoustic Emission and Strain Localization in FCC Single Crystals Compressed in Channel-Die at Low Temperature*. Z. Metallkde, **92**, 376-381 (2001).

Emisja akustyczna w ściskanych stopach Mg-Li oraz stopach Al
 przetworzonych metodami ECAP, HPT i ARB

Acoustic emission in compressed Mg-Li and Al alloys processed by ECAP, HPT and ARB methods

 Andrzej Pawełek*, Andrzej Piątkowski*, Jan Kuśnierz*, Joanna Bogucka*
 Zbigniew Ranachowski**, Jarosław Mizera***, Zdzisław Jasiński*
 Stanislav Kúdela****, Stanislav Kúdela Jr.****

 *Aleksander Krupkowski Institute of Metallurgy and Materials Sciences
 Polish Academy of Sciences, 30-059 Kraków, Reymonta 25

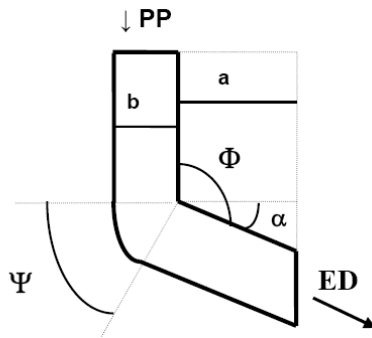
 **Institute of Fundamental Technological Research
 Polish Academy of Sciences 00-049 Warszawa, Świątokrzyska 21

 ***Materials Science Department
 Warsaw University of Technology, 02-507 Warszawa, Wołoska 141

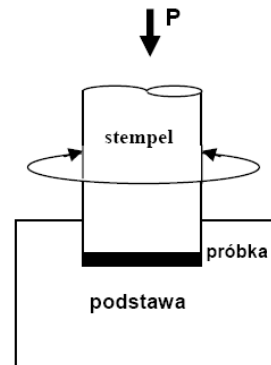
 ****Institute of Materials and Machine Mechanics
 Slovak Academy of Sciences, Račianska 75, 831 02 Bratislava, Slovakia
 E-mail: nmpawele@imim-pan.krakow.pl

1. Wprowadzenie i metody badawcze

Metody odkształcania intensywnego są coraz powszechniej stosowane do uzyskania rozdrobnienia mikrostruktury, gdyż umożliwiają otrzymanie masywnych próbek metali, gotowych do dalszego przerobu. Dotyczy to w szczególności walcowania pakietowego ze spajaniem, czyli tak zwanej metody ARB (Accumulative Roll-Bonding, np. [1]). Znane są również wyroby wytwarzane w skali przemysłowej metodą wyciskania w kanale kątowym ECAP (Equal Channel Angular Pressing [2-4]). Najmniej rozpowszechniona jest metoda skręcania pod wysokim ciśnieniem HPT (High Pressure Torsion [2]), ponieważ samo wytworzenie wysokiego ciśnienia jest problemem trudnym.



Rys.1. Schemat wyciskania kąтового ECAP: ED – kierunek wypływu, PP - kierunek nacisku stempla.

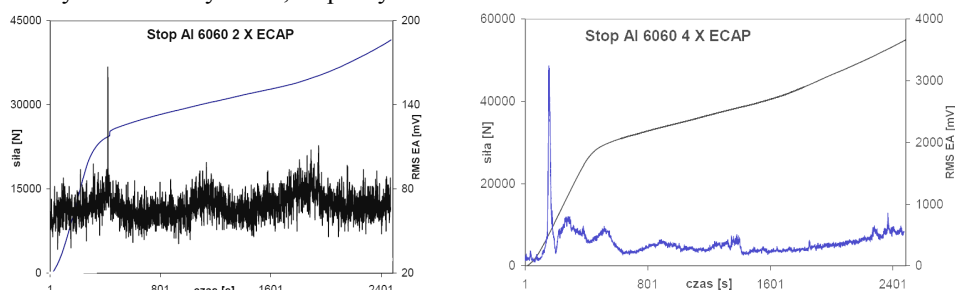


Rys.2. Schemat skręcania pod wysokim ciśnieniem HPT.

Powyższe metody wykorzystywane są do rozdrobnienia mikrostruktury i otrzymania ultradrobnokrystalicznej (nanokrystalicznej) wielkości ziarna prowadzącej do wzrostu wytrzymałości i ciągliwości materiału. Na Rys.1 przedstawiono schemat ilustrujący metodę wyciskania w kanale kątowym ECAP [3]. Parametry prototypu urządzenia mają wartości: $b=10\text{mm}$, $a=30\text{mm}$, kąt $\alpha=31,3^\circ$ lub $\alpha=90^\circ$. Odształcenie zastępcze (dla przekroju kwadratowego) jest równe $\varepsilon_n=0,5922n$, gdzie n - liczba przepustów. Dla kąta $\phi=90^\circ$ oraz $\alpha=0$ wynosi ono $\varepsilon_n=0,9069n$ [3]. Na Rys.2 pokazano schemat metody HPT skręcania pod wysokim ciśnieniem [2-4]. Próbkę stanowi walec o promieniu podstawy R i wysokości l . Odształcenie postaciowe γ po N obrotach wynosi $\gamma=(2\pi RN)/l$, a odształcenie zastępcze $\varepsilon_N=\gamma/1,73$. Metoda ARB jest omówiona także w tym tomie, lecz w innej naszej pracy.

2. Wyniki i dyskusja

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań zachowania się EA podczas testów ściskania stopów Mg-Li oraz stopów Al przed i po obróbce metodami ECAP, ARB i HPT. Wykreślono mapy akustyczne i charakterystyki widmowe. Na Rys.3 przedstawiono np. przebiegi parametru RMS EA i siły zewnętrznej podczas ściskania stopów Al typu 6060, po dwu- (Rys.3a) i czterokrotnej (Rys.3b) obróbce w kanale ECAP o przekroju kołowym. Widać wyraźnie, że plastyczność i RMS wzrasta ze wzrostem krotności obróbki.



Rys.3. Przebiegi EA i siły podczas ściskania stopu Al 6060 po 2- (a) i 4-krotnej (b) obróbce ECAP.

Otrzymane wyniki przedyskutowano w kontekście istniejących modeli źródeł EA oraz dyslokacyjnych mechanizmów odształcenia plastycznego [5] i płynięcia nadplastycznego w materiałach ultradrobnoziarnistych i nanokrystalicznych.

Powyższa praca została sfinansowana w ramach projektu badawczego KBN Nr 3 T08A 032 28 oraz częściowo również w ramach projektu badawczego MNiSW Nr N507 056 31/1289

Literatura

- [1] J. Kuśnierz, J. Bogucka. *ARB of al 99.8%*. Arch. of Metallurgy and Materials – in press
- [2] R.Z. Valiev, R.K. Ismagaliev, I.V. Alexandrov. *Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation*. Progress in Materials Science, **45**, 103 (2000)
- [3] J. Kuśnierz. *Microstructure and texture evolving under Equal Channel Angular (ECA) processing*. Archives of Metallurgy, **45**, 375 (2001)
- [4] K.J. Kurzydłowski, M. Richert, J. Richert, J. Zasadziński. *Effect of non-conventional large deformations on the formation of nanostructure in materials*. Solid State Phenomena, **101-102**, 31 (2005)
- [5] A. Pawełek, A. Piątkowski, Z. Jasiński, S. Pilecki. *Acoustic Emission and Strain Localization in FCC Single Crystals Compressed in Channel-Die at Low Temperature*. Z. Metallkde, **92**, 376-381 (2001).

Mechaniczno-akustyczne oraz mikroskopowe badania właściwości
tworzywa korundowego*Acoustic-mechanical and microscopic investigation of corundum material*Przemysław Ranachowski*, Feliks Rejmund*
Andrzej Pawełek**, Andrzej Piątkowski**

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa

**Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków

E-mail: freymund@ippt.gov.pl

Tworzywa korundowe, o wysokiej zawartości Al_2O_3 - przekraczającej najczęściej 80 % - znajdują szerokie zastosowanie we współczesnej technice. Jako elementy urządzeń stosowane są przede wszystkim tam, gdzie wymagana jest duża wytrzymałość mechaniczna termomechaniczna lub odporność na ścieranie. Tworzywo to posiada ponadto dobre parametry elektryczne i jest odporne na utlenianie, korozję chemiczną oraz różnego rodzaju promieniowania.

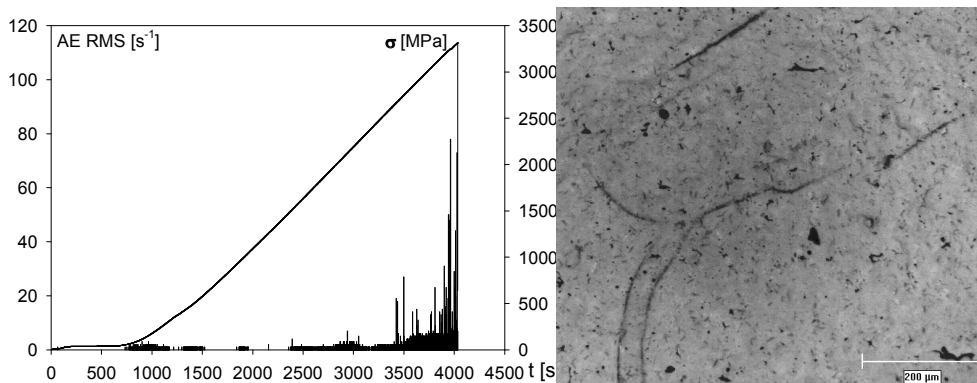
W prezentowanej pracy przedstawiono mechaniczno-akustyczne i strukturalne badania tworzywa korundowego rodzaju C 799, o zawartości Al_2O_3 równej 99,7 % [1]. Do wytworzenia próbek wykorzystano granulaty NM 9922 firmy Nabaltec. Proces technologiczny obejmował prasowanie jednoosiowe, dogęszczanie izostatyczne, wypalanie wstępne (na biskwit), wycięcie próbek, spiekanie, kontrolę fuksynową i densytometryczną oraz ostateczną obróbkę mechaniczną kształtek.

Ultradźwiękowa kontrola jednorodności próbek wykazała, że posiadają one nieznaczną anizotropię i także pewne różnice parametrów akustycznych i modułu sprężystości pomiędzy sobą. Próbki poddano badaniom mechaniczno-akustycznym z wykorzystaniem techniki emisji akustycznej (EA), na specjalnym dwutorowym układzie pomiarowym. Kształtki o małych gabarytach były obciążane wolno narastającym naprężeniem ściskającym ($v = 0,02$ mm/min), z jednoczesną rejestracją siły w jednym torze oraz deskryptorów EA w drugim torze pomiarowym. Wytrzymałość próbek zmieniała się od 2660 do ponad 3800 MPa. Poszczególne próbki odznaczały się zróżnicowaną aktywnością akustyczną. Z reguły jednak rejestrowano sygnały EA generowane w szerokim zakresie naprężeń podkrytycznych oraz dla krótkiego etapu krytycznego. Poprzedzał on bezpośrednio zniszczenie próbki i odpowiadał naprężeniu charakterystycznemu dla danej kształtki – rysunek 1. Próbki o niższej wytrzymałości, wynikającej z mniej jednorodnej struktury, odznaczały się szybszym wystąpieniem silnego, lecz krótkotrwałego etapu krytycznego.

Do badań strukturalnych przeznaczono pięć próbek o zróżnicowanej charakterystyce mechaniczno-akustycznej. Ich obciążanie zatrzymano krótko przed krytycznym etapem niszczenia struktury. We wszystkich próbkach stwierdzono efekty poluzowania struktury. Dotyczyło to zwłaszcza ich centralnej części, gdzie naprężenia ulegają kumulacji. Propagacja mikropęknięć zachodzi jedynie wzdłuż granic ziarn. Niemniej zaobserwowano wykruszenia obejmujące 0,3 ÷ 0,4 % na brzegach i do 1,0 % powierzchni zglądu w środku

próbek. W jednej z kształtek stwierdzono obecność większych pęknięć w jej centralnej części – rysunek 2. Porowatość tworzywa w żadnej z próbek nie przekracza 0,11 %. Kształtki różnią się jednak wielkością ziarn oraz jednorodnością rozłożenia ziarn grubszych – rzędu $10 \div 30 \mu\text{m}$ i drobnych – o wielkości nieprzekraczającej kilku mikrometrów. Stwierdzono, że duże różnice w wytrzymałości i charakterystyce mechaniczno-akustycznej próbek są konsekwencją różnic w wielkości ziarn (najczęściej rozkład dwumodalny) oraz w ich przestrzennym rozłożeniu. Ziarna grubsze tworzą często centra o wielkości rzędu $100 \mu\text{m}$, otoczone drobnymi ziarnami. Niekiedy również grubsze oraz drobniejsze ziarna układają się w oddzielne pasma o szerokości kilkudziesięciu mikrometrów. Jedynie najmocniejsze z próbek odznaczają się jednomodalnym rozkładem wielkości ziarn oraz ich równomiernym rozłożeniem przestrzennym. Większość kształtek wykazuje wyraźną niejednorodność struktury w skali pół-makro i także niedostateczną w skali mikro.

Zaobserwowane niejednorodności, mające decydujący wpływ na charakterystyki mechaniczno-akustyczne, są prawdopodobnie stanem pośrednim związanym z efektem nadnaturalnego wzrostu ziarn (abnormal grain growth). Efekt ten występuje po dłuższym czasie spiekania, a jego powstawaniu sprzyja szybki przyrost temperatury w trakcie obróbki termicznej. Zjawisko ma charakter losowy i jego przyczyny nie zostały w dostateczny sposób wyjaśnione [2,3].



Rys. 1. Przebieg tempa RMS EA w funkcji przyrostu naprężenia ściskającego dla próbki oznaczonej 6, o wytrzymałości równej 3320 MPa - z lewej strony.

Rys. 2. Pęknięcia w środkowej części próbki oznaczonej 3, którą obciążano do 3180 MPa. Powiększenie 100 razy - z prawej strony.

Literatura

- [1] IEC Publication 672-1:1995 *Ceramic and glass-insulating materials, Part 1: Definitions and classification*.
- [2] O.M. Ivasishin, S.V. Shevchenko, S.L. Semiatin. *Modeling of abnormal grain growth in textured materials*. Scripta Materialia, **50**, 1241-1245 (2004).
- [3] P.R. Rios. *Abnormal grain growth development from uniform grain size distributions due to a mobility advantage*. Scripta Materialia, **38**, 9, 1359-1364 (1998).

Praca była współfinansowana w ramach Projektu Badawczego Nr N507 056 31/1289.

Anizotropia propagacji fali ultradźwiękowej w cieczy
 magnetycznej APG-832

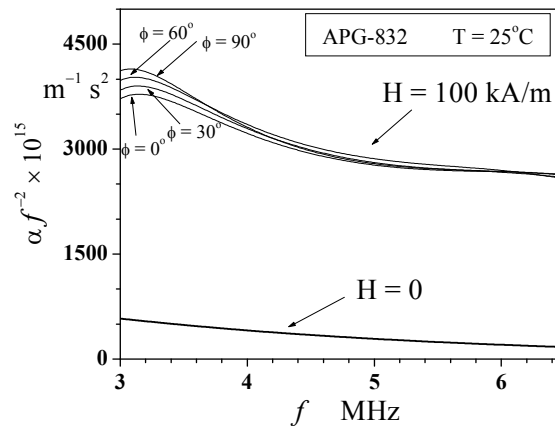
Anisotropy of ultrasound attenuation in APG-832 magnetic liquid

 Patrycja Regulska, Andrzej Skumiel
 Tadeusz Hornowski, Arkadiusz Józefczak

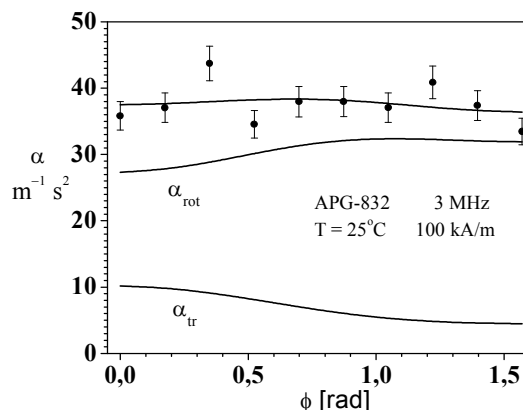
 Instytut Akustyki, Uniwersytet Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań
 E-mail: regula@poczta.tp.pl

Ciecz magnetyczna jest koloidalną zawiesiną cząstek magnetycznych w cieczy nośnej. Pod wpływem działania zewnętrznego pola magnetycznego następuje restrukturyzacja ośrodka. Cząstki magnetytowe zawieszone w cieczy nośnej tworzą sferyczne klastry, które pod wpływem silnego pola magnetycznego ustawiają się wzdłuż kierunku pola, tworząc łańcuchy. W niniejszej pracy zostały przedstawione wyniki badań akustycznych cieczy magnetycznej APG832, w której szczególną uwagę zwrócono na zjawisko anizotropii propagacji fali ultradźwiękowej (FU).

Eksperymentalnie wyznaczono wartości współczynnika pochłaniania fali ultradźwiękowej propagującej się w badanej cieczy, wykorzystując do tego celu następującą zależność: $\alpha = \frac{1}{l} \cdot \ln\left(\frac{A_m}{A_r}\right)$, gdzie A_m jest amplitudą mierzonego sygnału, a A_r jest amplitudą sygnału odniesienia [1, 2]. Uzyskane sygnały zostały przetworzone przy zastosowaniu FFT, co pozwoliło otrzymać $\alpha(f)/f^2$, co pokazano na rys. 1.


 Rys. 1. Zależność αf^{-2} fali ultradźwiękowej od częstotliwości w cieczy APG832

Badania przeprowadzono w zewnętrznym polu magnetycznym o natężeniu 0 i 100kA/m, w zakresie częstotliwości $f=3-6,5$ MHz. Największą anizotropię pochłaniania FU zarejestrowano dla niższych częstotliwości. Efekt ten jest spowodowany translacyjnymi i rotacyjnymi ruchami cząstek magnetycznych tworzących klaster [3].



Rys. 2. Anizotropia pochłaniania FU wraz ze składowymi funkcji Taketomiego

Rys. 2 przedstawia krzywe dopasowania funkcji Taketomiego wraz z jej dwiema składowymi (częścią rotacyjną i translacyjną) do punktów eksperymentalnych anizotropii współczynnika pochłaniania fali ultradźwiękowej w cieczy magnetycznej APG832. Dopasowania dokonano dla kilku wybranych częstotliwości.

Analiza wyników eksperymentalnych wykazała, że w warunkach pomiarowych dominuje składowa rotacyjna, która ze wzrostem kąta rośnie, podczas gdy druga składowa maleje. Biorąc pod uwagę stężenie objętościowe $\phi_V = 3,7\%$ cząstek magnetycznych w ferrocieczy, a także objętość zajmowaną przez utworzone klastry $4\pi r_{cl}^3 N / 3 = 0,00138 m^3$ (w $1 m^3$ ośrodka), okazuje się, że tylko niewielka część cząstek magnetycznych weszła w skład tych klastrów. Dowodzi to o znacznej stabilności ferrocieczy w silnym polu magnetycznym.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr 4 TOB 04130 i N202 097 32/2406.

Literatura

- [1] F. Peters, L Petit. *A broad band spectroscopy method for ultrasound wave velocity and attenuation measurement in dispersive media*, Ultrasonics **41**, 357–363 (2003).
- [2] T. Hornowski. *The broadband ultrasonic absorption in the water-based magnetic liquid as a function of the magnetic field strength*, Molecular&Quantum Acoustics **25**, 109-114 (2004).
- [3] S. Taketomi. *The anisotropy of the sound attenuation in magnetic fluid under an external magnetic field*, J. Phys. Soc, Jpn., **55** (3), 838–844 (1986).

Wpływ szerokości pasma przenoszenia przetwornika ultradźwiękowego na komplementarne kody Golaya

The influence of the transducer bandwidth on the efficient Golay codes compression

Ihor Trots, Andrzej Nowicki, Wojciech Secomski, Ryszard Tymkiewicz

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
E-mail: igortr@ippt.gov.pl*

1. Wprowadzenie

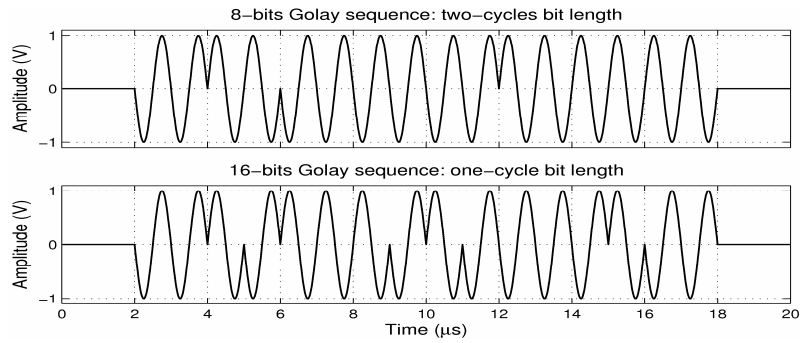
Celem pracy jest określenie wpływu szerokości pasma przenoszenia przetwornika ultradźwiękowego na skuteczność kompresji sygnałów ultradźwiękowych. Do eksperymentalnej weryfikacji wykorzystano komplementarne pary kodów Golaya o różnej długości bitów – jeden okres oraz dwa okresy. Zostały użyte trzy przetworniki ultradźwiękowe o różnej częstotliwości środkowej oraz różnym paśmie przenoszenia: przetwornik ogniskowany 6 MHz o szerokości pasma 25%, płaski 4.4 MHz o szerokości pasma 58% oraz płaski kompozytowy 6 MHz o szerokości pasma 80%. W celu sprawdzenia rozdzielczości osiowej został użyty reflektor z plexi o grubości 1.3 mm.

Wyniki eksperymentu w rzeczywisty sposób odzwierciedlają zalety kodowanych sekwencji Golaya o bitowej długości dwa okresy w porównaniu do dotychczas szeroko stosowanych kodowanych sekwencjach o bitowej długości jeden okres. W przypadku przetwornika o wąskim (25%) paśmie częstotliwości stosunek peak-to-peak zwiększa się 1.89 razy, dla przetwornika o paśmie 58% stosunek ten wynosi 1.62 razy, oraz dla szerokopasmowego przetwornika gdzie pasmo jest równe 80% stosunek ten jest równy 1.47 razy.

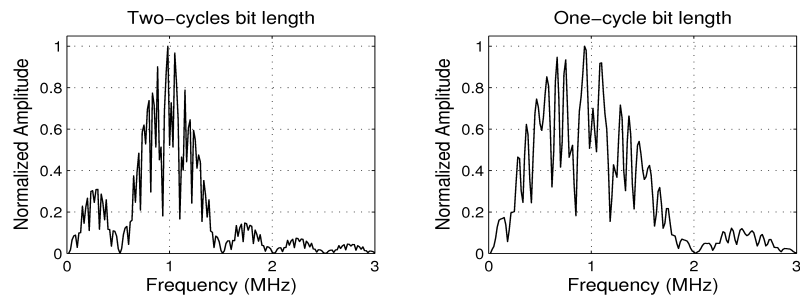
2. Komplementarnych kodów Golaya o różnej bitowej długości

Komplementarne kody Golaya po raz pierwszy zostały opisane w 1961 roku [1]. Istnieje kilka metod obliczenia kodów Golaya [2, 3]. Przyczyną wydłużania pojedynczego bitu jest fakt, że widmo okresu sinusoidalnego o krótkim czasie trwania jest szersze niż szerokość pasma częstotliwości przetwornika ultradźwiękowego co zmniejsza skuteczność transmisji sygnału. Zastąpienie jednego okresu poprzez dwa okresy w pojedynczym bicie kodowanej sekwencji zwięża szerokość pasma częstotliwościowego całej kodowanej sekwencji i energia transmitowanej kodowanej sekwencji w przybliżeniu podwaja się.

Na rys. 1 jest pokazano jedną 8-bitową kodowaną sekwencje Golaya o bitowej długości dwa okresy oraz 16-bitową sekwencje o bitowej długości jeden okres o nominalnej częstotliwości 1 MHz. Rys. 2 przedstawia widmo tych kodowanych sekwencji.



Rys. 1. Kody Golaya o nominalnej częstotliwości 1 MHz oraz o różnej bitowej długości: 16 bitowy kod Golaya o bitowej długości 1 cykl (góra), 8 bitowy kod Golaya o bitowej długości 2 cykły (dół).



Rys. 2. Widmo 8 bitowej kodowanej sekwencji Golaya o bitowej długości 2 okresy (po lewej stronie) oraz 16 bitowej kodowanej sekwencji Golaya o bitowej długości 1 okres (po prawej).

3. Podsumowanie

- Zaproponowana nowa metoda kodowania pojedynczego bitu w bipolarnych kodowanych sekwencjach Golaya pozwoliła na zmniejszenie szerokości pasma częstotliwościowego całej sekwencji kodowanej.
- Przeprowadzona wstępna komputerowa analiza wykazała odporność na zniekształcenie kształtu oraz zachowanie energii kodowanej sekwencji.
- Zarówno wyniki komputerowych obliczeń jak i eksperymentalnych badań potwierdziły skuteczność zaproponowanej metody kodowania, nadawania oraz filtracji kodowanych sekwencji Golaya.
- Omówiono wpływ szerokości pasma przenoszenia przetwornika ultradźwiękowego na skompresowany sygnał. Stwierdzono uzyskanie większej energii w skompresowanym sygnale, co pozwala na zwiększanie głębokości obrazowania oraz na zwiększanie stosunku sygnał/szum.

Literatura

- [1] M. J. E. Golay. *Complementary series*. IRE Trans. Inf. Theory, **IT-7**, pp. 82-87 (1961).
- [2] D. Z. Dokovic. *Equivalence classes and representatives of Golay sequences*. Discrete Math., vol. 189, pp. 79-93 (1998).
- [3] I. Trots, A. Nowicki, W. Secomski, J. Litniewski. *Golay sequences - side-lobe-canceling codes for ultrasonography*. Archives of Acoustics, **29**(1), pp. 87-97, (2004).

AKUSTYKA BIOMEDYCZNA



BIOMEDICAL ACOUSTICS

Oddziaływanie fal akustycznych niskiej częstotliwości na poziom aktywacji

The effects of low-frequency noise on the levels of activation

Cezary Kasprzak

*Akademia Górniczo–Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: cekasp@agh.edu.pl***1. Wprowadzenie**

W badaniach, do pomiaru aktywacji zastosowany został kwestionariusz Thayera (Lista Przymiotnikowa Thayera – LPT lub z ang. *The Activation-Deactivation Adjective Check List AD ACL*) opracowany na podstawie badań dotyczących, samoopisu subiektywnie odczuwanego stanu samopoczucia. Ważną zaletą modelu Thayera jest podejście do pomiaru aktywacji. Thayer jako jeden z pierwszych badaczy zwrócił tu, uwagę na samoopis, jako na sposób wglądu w całościową aktywację organizmu.

Wskaźnikiem poziomu odpowiedniego stanu aktywacji jest liczba punktów. W wyniku przeprowadzonych przez Thayera oraz innych badaczy eksperymentów, wysunięte zostały następujące wnioski, określające funkcjonalne znaczenie poszczególnych wymiarów [3, 5]:

- skala Aktywacji Ogólnej mierzy gotowość do pracy, a wynik w tej skali jest dobrym predykatorem efektywności działania poznawczego,
- skala Dezaktywacji – Senności mierzy zmęczenie, choć około dobowe zmiany poziomu tej skali mogą być wynikiem zwiększania się lub zmniejszania poziomu senności,
- skala Wysokiej Aktywacji mierzy lęk i napięcie,
- skala Dezaktywacji Ogólnej informuje o procesach dostosowywania organizmu do poziomu stymulacji, mierzy reakcję na stymulację zewnętrzną lub wewnętrzną.

2. Badania doświadczalne

Całkowita liczba stron powinna wynosić nie więcej niż cztery strony w przypadku referatów zaproszonych oraz nie więcej niż dwie strony w przypadku referatów sekcyjnych. W obu przypadkach liczba stron powinna być parzysta. Tekst należy przygotować jednostronnie na papierze formatu A4. Na podstawie dokonanego przeglądu literatury i przeprowadzonych badań pilotażowych wytypowano trzy różne sytuacje badawcze ($f = 7$ Hz i $L_p = 120$ dB, $f = 18$ Hz i $L_p = 120$ dB oraz $f = 40$ Hz i $L_p = 110$ dB). Parametry bodźca zostały ustalone w oparciu o normy i dostępną literaturę dotyczącą oddziaływania infradźwięków i dźwięków niskiej częstotliwości na człowieka, z założeniem, że ekspozycja ma być bezpieczna i nieuciążliwa [1, 2, 4, 6, 7, 8].

Badania doświadczalne przeprowadzono w Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej WIMIR AGH. Przeprowadzono łącznie 96 doświadczeń w trzech niezależnych sytuacjach badawczych. W eksperymentach uczestniczyły 33 zdrowe osoby (9 kobiet i 24 mężczyzn) w wieku 20-30 lat. Uczestnicy zostali poddani trzykrotnie 20 minutowej ekspozycji falą akustyczną.

2. Dyskusja i wnioski

Według Thayera, samoopis dostarcza lepszej wskazówki dotyczącej poziomu aktywacji, niż pojedynczy pomiar psychofizjologiczny i jako taki może być doskonałym wskaźnikiem praktycznym. Opracowana przez R.E. Thayera, na podstawie powtarzanych, wieloletnich badań, koncepcja aktywacji, zawiera dwie, jednowymiarowe dymensje. Każda z nich powiązana jest z odmiennym mechanizmem fizjologicznym, posiada własną dynamikę i dzieje się w różnych warunkach zewnętrznych. Oba rodzaje pobudzenia traktuje się tu jako całościowe, zintegrowane sposoby psychofizjologicznego reagowania organizmu człowieka. Kojarzona z nim aktywność odpowiada, przede wszystkim, gotowości do działania. Druga dymensja rozciąga się od subiektywnie odczuwanego napięcia do uspokojenia i wyciszenia. Pojawia się w sytuacjach poczucia zagrożenia i niebezpieczeństwa i wiąże się z subiektywnym odczuwaniem lęku i napięcia. Rolą tego rodzaju pobudzenia jest przygotowanie organizmu do działania w warunkach stresu. Sytuacją, w której dochodzi do zmniejszenia pobudzenia napięciowego jest subiektywne poczucie odprężenia i relaksu.

Uzyskane rezultaty badawcze wykazują istotny statystycznie wpływ fali infradźwiękowej o częstotliwości $f = 7$ Hz i poziomie ciśnienia akustycznego $S_{pl} = 120$ dB (HP) na zwiększenie „dezaktywacji senności”. Występuje wzrost ilości punktów uzyskiwanych w tej skali z 10,667 do wartości 11,727. Zaobserwowano analogiczny trend dla częstotliwości 18 i 40 Hz jednak nie istotny statystycznie. Nie stwierdzono zmian na pozostałych skalach testu Thayera.

Literatura

- [1] D. Augustyńska, , Zawiejski, W. M. (red.). (1999). *Ochrona przed hałasem i drganiami w środowisku pracy*. Warszawa. Centralny Instytut Medycyny Pracy.
- [2] Z. Damijan, C. Kasprzak, R. Panuszka *Low-frequency sounds and psychological tests at 7, 18, and 40 Hz* *The Journal of the Acoustical Society of America*. — 2004 vol. 115 no. 5.
- [3] E. Duffy, (1962). *Activation and behavior*. New York: Wiley.
- [4] R. F. Job, (1993). *Psychological factors of community reaction to noise*. In M. Vallet (Ed.), *Noise as a Public Health Problem*, Arcueil Cedex, France: INRETS, Vol. 3, 48-70.
- [5] J. Kaiser, Z. Wojtaszek, (1988). *Skrypt do psychofizjologii*. Kraków.
- [6] Kaczmarska, D. Augustyńska, (1991). *Ocena zagrożeń hałasem infradźwiękowym*. *Bezpieczeństwo Pracy* nr 3, 1-4.
- [7] Kasprzak, Z. Damijan, R. Panuszka *Method of assessment of low-frequency noise annoyance in the working environment* , *Polish Journal of Environmental Studies*. — 2004 vol. 13 suppl. 3 Olsztyn : HARD, 2004.
- [8] R. Panuszka, Z. Damijan, C. Kasprzak, J. McGlothlin *Infrasound and biorhythms of the human brain* // *The Journal of the Acoustical Society of America*. — 2002 vol. 111 no. 5.

Zastosowanie detekcji fazoczułej do pomiaru sygnałów DPOAE

Use of double-phase sensitive detection to measure DPOAE signals

Wojciech Michalski*, Wojciech Dziewiszek**, Marek Bochnia**

 *Instytut Telekomunikacji Teleinformatyki i Akustyki, Politechnika Wroclawska
 Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław, E-mail: Wojciech.Michalski@PWr.Wroc.pl

 **Klinika i Zakład Otolaryngologii, Akademia Medyczna Wrocław
 T. Chalubińskiego 2, 50-368 Wrocław, E-mail: Dziewisz@fa.am.wroc.pl

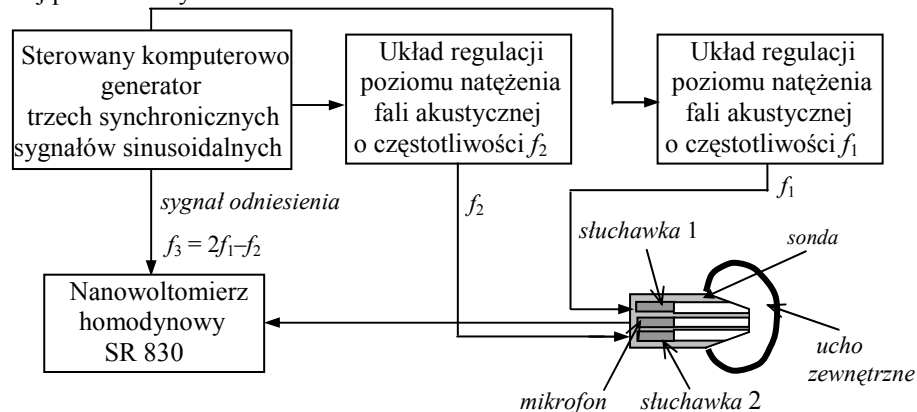
1. Wprowadzenie

Detekcja fazoczuła umożliwia pomiar bardzo słabych sygnałów zmiennych okresowych, nawet poniżej poziomu szumów i innych sygnałów zakłócających. Jeżeli sygnał mierzony jest sygnałem harmonicznym, to mierzona jest wartość skuteczna tego sygnału. W przypadku pomiaru sygnału okresowego bardziej złożonego pomiar dotyczy wartości skutecznej pierwszej harmonicznej tego sygnału.

Autorzy artykułu stosowali najpierw detekcję fazoczułą do pomiaru sygnałów PM (potential microphonics) u świnek morskich [1,2]. Na bazie uzyskanych doświadczeń powstała koncepcja zastosowania detekcji fazoczułej do pomiaru sygnałów związanych z otoemisją akustyczną produktów zniekształceń nieliniowych (DPOAE – Distortion Product Otoacoustic Emission). Sygnały te wywoływane są dwoma tonami o różnych częstotliwościach f_1 i f_2 . Odpowiedzią organu Cortiego na takie pobudzenie jest akustyczny sygnał zwrotny o różnych częstotliwościach kombinacyjnych, w tym najsilniejszy o częstotliwości $f_3 = 2f_1 - f_2$. W artykule omówiono szczegóły tej metody i podano wstępne wyniki pomiarów.

2. Opis metody

Schemat blokowy układu do pomiaru sygnałów DPOAE metodą podwójnej detekcji fazoczułej podano na rys.1.



Rys.1. Schemat blokowy układu do pomiaru sygnałów DPOAE

Podstawą całego układu pomiarowego jest generator cyfrowy będący źródłem trzech współbieżnych sygnałów harmonicznym. Komputer sterujący generatorem umożliwia ustawienie określonej częstotliwości każdego z trzech sygnałów wyjściowych generatora. Na dwóch wyjściach generatora znajdują się układy umożliwiające regulację amplitudy sygnałów wzbudzających pośrednio funkcję ślimaka, a regulacja amplitudy tych sygnałów przekłada się na określone poziomy decybelowe fal akustycznych wzbudzanych w przewodzie słuchowym zewnętrznym.

Fale akustyczne wzbudzone są przez dwie słuchawki znajdujące się w sondzie umieszczonej w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Dodatkowo w sondzie znajduje się mikrofon, który odbiera słaby sygnał akustyczny zwrotny wytwarzany przez komórki słuchowe zewnętrzne. Mikrofon ten odbiera nie tylko słaby sygnał akustyczny otoemisji wywołanej, ale także dużo silniejsze sygnały akustyczne pobudzające. Warto podkreślić, że różnica między poziomami akustycznymi fal pobudzających a sygnałem otoemisji jest rzędu 30 – 40 dB. Dzięki zastosowaniu detekcji fazoczułej odbierany jest tylko ten sygnał, którego częstotliwość jest taka sama jak sygnału odniesienia.

3. Wyniki wstępne

Koncepcję pomiaru sygnałów DPOAE metodą podwójnej detekcji fazoczułej sprawdzono na pięciu świnkach morskich. Stosowano pobudzenie akustyczne dwoma tonami o różnych częstotliwościach f_1 i f_2 i różnych poziomach natężenia każdego z tonów w dB. Metodzie detekcji fazoczułej poddawano sygnał na wyjściu mikrofonu o częstotliwości $f_3 = 2f_1 - f_2$; sygnał o takiej częstotliwości podawano bowiem jako sygnał odniesienia.

W czasie testowania metody możliwy był pomiar sygnałów DPOAE o poziomie nawet poniżej –15 dB, przy poziomie natężenia obu fal wywołujących otoemisję akustyczną równym 60 – 65dB.

4. Podsumowanie

Metoda podwójnej detekcji fazoczułej okazała się bardzo przydatna do pomiaru sygnałów DPOAE. Na szczególną uwagę zasługuje duża czułość tej metody. Dzięki niej możliwy jest pomiar bardzo słabych sygnałów DPOAE oraz dokładny pomiar zmian wartości tych sygnałów pod wpływem różnych czynników zewnętrznych. Metoda została zgłoszona do opatentowania i z dniem 19.06.2006 została zarejestrowana pod numerem P 379972 [3].

Literatura

- [1] W. Michalski, L. Pośpiech, W. Dziewiszek, M. Bochnia, *Urządzenie do pomiaru potencjałów mikrofonicznych ślimaka ucha wewnętrznego*, patent PL 180060.
- [2] W. Michalski, M. Bochnia, W. Dziewiszek, A. Kutynia, *Urządzenie do fazoczułego pomiaru potencjałów mikrofonicznych ślimaka ucha wewnętrznego*, Biul. Urz. Pat., **33 nr.14**, (2005).
- [3] W. Michalski, M. Bochnia, W. Dziewiszek, *Metoda i urządzenie do badań przesiewowych słuchu*, P 379972 (2006).

Zmiany parametrów akustycznych zębów pod wpływem Coca-Coli

The Changes of Acoustic Parameters for Teeth Under of Influence of Coca-Cola

Helena Gawda, Agnieszka Młynek

*Katedra i Zakład Biofizyki Akademii Medycznej w Lublinie, ul. Jaczewskiego 4, 20-090 Lublin
email: helena.gawda@am.lublin.pl***1. Wprowadzenie**

Ponad 90% dzieci z polskich szkół ma próchnicę i choroby przyzębia. Według stomatologów główną przyczyną nadżerek i osłabienia szkliwa zębów wśród nastolatków są słodzone napoje gazowane. Wczesna zmiana próchnicowa charakteryzuje się mikroskopową podpowierzchniową demineralizacją i jest odwracalna [1]. Wpływ Coca-coli na mikrotwardość szkliwa badali Fösse i współpracownicy [2]. Przeprowadzone badania ultradźwiękowe na zębach miały na celu pokazać, czy pod wpływem Coca-coli zmieniają się parametry akustyczne i mechaniczne zębów. Dodatkowo traktowano zęby kwasem ortofosforowym, który demineralizuje szkliwo zębów, a o nieznanym stężeniu jest składnikiem Coca-coli.

2. Metodyka badań i wyniki

Pomiary ultradźwiękowe przeprowadzono na zębach trzonowych, pobranych od kobiet i mężczyzn w wieku od 23 do 45 lat. Od momentu pobrania od pacjenta zęby przechowywane były w soli fizjologicznej. Czas przejścia fal ultradźwiękowych, o częstotliwości 0,1 MHz, przez koronę zęba w dwóch kierunkach: bocznym i policzkowo-językowym, mierzono Testerem CT-1 (Unipan – Ultrasonic). Dla uzyskania lepszego kontaktu między zębem a przetwornikami ultradźwiękowymi, stosowano wazelinę. Średnicę poszczególnych zębów mierzono suwmiarką wbudowaną w zestaw pomiarowy, aby uzyskać powtarzalność wyników i lepszą dokładność pomiarów. Czas propagacji fal ultradźwiękowych mierzono z dokładnością do 0,1 μ s, natomiast średnicę zębów wyznaczano z dokładnością 0,1 mm. Obliczono prędkości propagacji fal ultradźwiękowych dla poszczególnych zębów w obu kierunkach pomiarowych. Otrzymane wyniki zawierają się w przedziałach: dla prędkości w kierunku bocznym 3407÷5667 m/s i dla prędkości w kierunku policzkowo-językowym 3840÷5444 m/s. Metodą hydrostatyczną wyznaczano gęstości zębów, dokonując dwóch ważeń: w powietrzu i w wodzie destylowanej. Otrzymane wyniki zawierają się w przedziale 2012÷2279 kg/m^3 . Pomiary wykonano z dokładnością 0,1 mg [3]. Z powyższych wyników obliczono impedancję akustyczną i moduł Young'a zębów dla obu kierunków pomiarowych: bocznym i policzkowo-językowym. Otrzymane wyniki zawierają się w przedziałach: dla impedancji akustycznej: w kierunku bocznym 6855÷12393 $(\text{kNs})/\text{m}^3$, w kierunku policzkowo-językowym 8088÷13794 $(\text{kNs})/\text{m}^3$ i dla modułu Young'a: w kierunku bocznym 23,36÷70,27 GPa, w kierunku policzkowo-językowym 32,19÷66,0 GPa.

Zęby (15) podzielono na trzy grupy (5). Pierwszą grupę zębów moczone w Coca-coli przez 18 godzin na dobę – czas doświadczenia trwał 11 dni, drugą grupę zębów płukano w Coca-coli 5 razy dziennie przez 30 sekund w ciągu 32 dni. Doświadczenie przeprowadzane było w temperaturze 21°C. Trzecią grupę zębów traktowano kwasem ortofosforowym 10% w temperaturze 37°C przez 20 minut dokonując pomiarów czasu przejścia fal ultradźwiękowych przez koronę zęba i gęstości zębów co minutę. Dla poszczególnych zębów sporządzono wykresy zależności zmian, jakie nastąpiły w czasie dokonywanych doświadczeń: gęstości od czasu $\rho(t)$, prędkości propagacji fal ultradźwiękowych od czasu $v(t)$, impedancji akustycznych od czasu $Z(t)$ oraz modułów Young'a od czasu $E(t)$.

Obliczono zasięg pola bliskiego [4], które zawiera się od 1,3 mm do 2,1 mm. Grubości warstw szkliwa badanych zębów, w miejscu styku z przetwornikami ultradźwiękowymi, wynosiły od 1,1 mm do 2 mm. Oznacza to, że pierwsza warstwa szkliwa znajdowała się w polu bliskim, a zębina i druga warstwa szkliwa w polu dalekim.

Otrzymane wartości prędkości propagacji fal ultradźwiękowych są porównywalne z wartościami otrzymanymi przy badaniu zębów wzdłuż (ta sama metoda pomiarowa), gdzie prędkości zawierają się w przedziale 3200-4200 m/s [5]. Dla poszczególnych zębów wartości prędkości propagacji fal ultradźwiękowych są zbliżone do wartości wyznaczonych dla odseparowanego szkliwa, badanego impulsową metodą echa (18 MHz, ośrodek sprzęgający – woda), gdzie $v \in (6150 \text{ m/s} - 6500 \text{ m/s})$ [6].

3. Wnioski

1. Działanie Coca-cola i kwasu ortofosforowego spowodowało demineralizację szkliwa zębów oraz spadek wartości parametrów akustycznych i osłabienie właściwości mechanicznych badanych zębów
2. Gęstości zębów zmalały średnio o 5%;
3. Czasy przejścia fal ultradźwiękowych przez koronę zęba wydłużyły się, zarówno w kierunku bocznym, jak i w kierunku policzkowo-językowym;
4. Wartości prędkości propagacji fal ultradźwiękowych spadły średnio: w kierunku bocznym o 7%, a w kierunku policzkowo-językowym o 6%;
5. Spadek impedancji akustycznej dla obu kierunków pomiarowych wyniósł średnio 10%;
6. Wartości modułów Young'a zmalały średnio o 15%, dla obu kierunków pomiarowych.

Przeprowadzono również obserwacje szkliwa zębów w mikroskopie SEM z mikrosondą rentgenowską i wyznaczono punktowo skład chemiczny przebadanych zębów.

Literatura

- [1] D. Piesiak-Pańczyszyn, U. Kaczmarek, J. Woźniak. *Wpływ wytrawiania powierzchni wczesnej zmiany próchnicowej na proces leczenia z użyciem różnych preparatów remineralizacyjnych – badania in vitro*. Czasopismo Stomatologiczne, **58**(9), 620-627 (2005).
- [2] M. Wierzbicka, R. Grzywacz, i inni. *Nieinwazyjna metoda pomiaru mikrotwardości tkanek zęba w ocenie własnej*. Czasopismo Stomatologiczne, **45**(1), 19-22 (1992)
- [3] H. Gawda, L. Sękowski. *Parametry akustyczne zębów a ich struktura*. Vol. V of *Waves Methods and Mechanics in Biomedical Engineering*. Kraków, 119-122 (2000).
- [4] A. Śliwiński. *Ultradźwięki i ich zastosowania*. WNT, Warszawa, 43-61 (2001).
- [5] H. Gawda, L. Sękowski, H. Trębacz. *In vitro examination of human teeth using ultrasound and X-ray diffraction*. Vol. 6 of *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. No.1, OWPW, Wrocław, 41-49 (2004).
- [6] S. Ng, P. Payne, N.A. Cartledge, M. Ferguson. *Determination of ultrasonic velocity in human enamel and dentine*. Arch Oral. Biol. **34**(5), 341-345(1989).

Wstępna analiza możliwości kompensacji wad techniki laserowej i ultradźwiękowej w chirurgii

A preliminary analysis of possibilities of compensating for the disadvantages of laser technology and ultrasonic technology in surgery

Tadeusz Gudra, Sylwia Muc

*Institut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki,
Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
E-mail: tadeusz.gudra@pwr.wroc.pl, sylwia.muc@pwr.wroc.pl*

1. Wprowadzenie

Zastosowanie czynne ultradźwięków i laserów w chirurgii ma podobny charakter. Ultradźwięki dużej mocy, niskiej częstotliwości wykorzystywane są między innymi do cięcia organów bardzo silnie ukrwionych (wątroba, nerki), do usuwania guzów nowotworowych (mózgu, gałki ocznej), do usuwania płytek miażdżycowych.

Lasery chirurgiczne (wysokoenergetyczne) są użyteczne podczas operacji wątroby, nerek. Stosuje się je także do usuwania guzów mózgu, do oczyszczania arterii wieńcowych z płytek miażdżycowych oraz do rozpuszczania skrzepów krwi. Dodatkowo, dzięki użyciu światłowodów, lasery stosuje się do wykonywania laparoskopowych i endoskopowych operacji chirurgicznych.

Obie te techniki wzajemnie się uzupełniają i pozwalają uzyskać pożądane efekty eliminując ograniczenia każdej z nich. Dlatego, bardzo często podczas zabiegu, stosuje się te dwie metody jednocześnie z oddzielnych, standardowych urządzeń.

Końcówka robocza ultradźwiękowego noża chirurgicznego jest wykonana najczęściej z tytanu. Transmisja ultradźwięków przez metalowy falowód, na większe odległości, prowadzi do niepożądanego ogrzewania tytanowej końcówki i tkanki. Dodatkowo, brak elastyczności tytanowej końcówki powoduje, że nóż ultradźwiękowy jest bezużyteczny w chirurgii endoskopowej. Po wykazaniu możliwości propagacji fali akustycznej przez światłowody [1], wydaje się być bardziej skuteczne połączenie lasera i ultradźwięków w jednym urządzeniu i w jednej końcówce przy użyciu światłowodu. Uzyskuje się możliwość wykorzystania ultradźwięków do operacji endoskopowych i laparoskopowych.

2. Analiza porównawcza i wyniki wstępnych badań

Analiza porównawcza obu systemów pokazuje, że połączenie zalet ultradźwięków i lasera w jednym urządzeniu pozwala skompensować wady obu technik i przynieść poprawę efektywności zabiegów chirurgicznych. Połączona metoda jest bezpieczniejsza, zmniejsza ryzyko powikłań.

Główne korzyści płynące z jednoczesnego zastosowania techniki laserowej i ultradźwiękowej podczas zabiegu to:

- skrócenie czasu operacji,
- mniejsze uszkodzenie otaczających tkanek,
- dobra pooperacyjna hemostaza,
- zmniejszenie krwawienia.

Zmniejszone krwawienie jest przede wszystkim spowodowane selektywnym cięciem tkanek przy użyciu ultradźwięków. Im więcej kolagenu/elastyny zawiera tkanka, tym wytrzymałość rośnie i efektywność usuwania tkanek spada. Powoduje to łatwość odsłaniania grubszych naczyń krwionośnych i nerwów w obszarze cięcia, pozwalając precyzyjnie ciąć niepożądane tkanki (guzy) bez naruszenia naczyń, przewodów żółciowych, nerwów.

Przeprowadzone wstępne próby pracy ultradźwiękowo-laserowego noża dały pozytywne i zachęcające wyniki. Połączona technika pozwoliła na zmniejszenie mocy lasera, co powoduje zmniejszenie nagrzewania się włókna, a co za tym idzie, zmniejszenie ryzyka spalenia kwarcowej końcówki oraz światłowodu.

Skuteczność połączenia obu technik wymaga doboru odpowiedniego materiału, z którego wykonany jest światłowód. Precyzyjny dobór światłowodu wydaje się być kluczowym zadaniem do uzyskania efektywnego laserowo-ultradźwiękowego urządzenia chirurgicznego. Wybór włókna jest zdeterminowany przez promień rdzenia włókna, długość fali lasera, częstotliwość ultradźwiękową i spodziewany propagowany mod drgań. Rdzeń światłowodu wykonany w 92.5% z SiO₂ i w 7.5% TiO₂ oraz płaszcz w 100% z SiO₂ umożliwia jednoczesną transmisję fali świetlnej i fali ultradźwiękowej. Równie ważny jest odpowiedni sposób wzajemnego oddziaływania energii świetlnej i ultradźwiękowej. Fala akustyczna powoduje zmianę współczynnika załamania światła i tym samym możliwa jest modulacja promieniowania laserowego.

Literatura

- [1] J. Tschepe, T. Ahrens, J. Helfmann, G. Muller, V. Gapontsev, *Tissue differentiation using laser induced shock waves by detection of acoustic transients through an optical wave guide*, SPIE vol. 1893, pp. 74-84, (1993).

Modelowanie badań grubości ściany tętnicy

Modeling of artery wall thickness examinations

Tadeusz Powalowski, Janusz Wójcik, Zbigniew Trawiński

*Zakład Ultradźwięków, Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
E-mail: tpowal@ippt.gov.pl*

1. Wprowadzenie

We współczesnych ultradźwiękowych badaniach diagnostycznych coraz bardziej znaczące stają się nieinwazyjne badania własności elastycznych ścian tętnic [1]. Z coraz większą uwagą podchodzi się do poznania efektów dynamicznych zachowania ściany tętnicy pod wpływem zmieniającego się w tętnicy ciśnienia krwi. W celu oceny stopnia przydatności ultradźwiękowych technik pomiarowych do celów elastografii naczyń tętniczych, zaproponowano w tej pracy modelowanie badań za pomocą opracowanego solvera pola akustycznego [2].

2. Symulacja badania grubości ściany tętnicy szyjnej

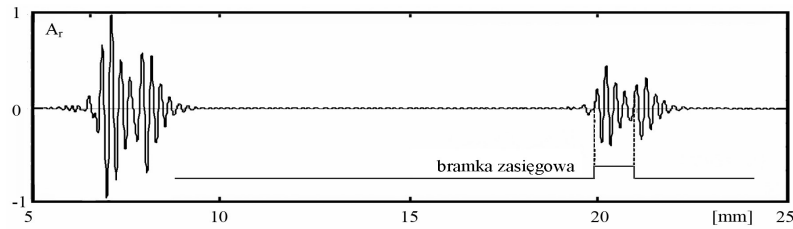
Badanie zmiany grubości ściany tętnicy przeprowadzono w oparciu o model teoretyczny. Model ściany tętnicy zawierał 3 warstwy. Grubość ścianki modelu oraz jej średnica były dobrane według wymiarów dla tętnic szyjnych, spotykanych u ludzi w wieku 30 lat [1]. Promień wewnętrzny modelu tętnicy wynosił 3 mm dla ciśnienia rozkurczowego i odpowiednio 3,3 mm dla ciśnienia skurczowego. Grubości poszczególnych warstw dla ciśnienia rozkurczowego wynosiły: dla warstwy wewnętrznej i zewnętrznej po 0,12 mm, a dla warstwy środkowej 0,36 mm. Grubość warstwy wewnętrznej+środkowej (IMT) zmieniała się od 0,48 do 0,44 mm na skutek zmiany ciśnienia wewnątrz modelu tętnicy. Sygnał RF symulowanych odbieranych ech ultradźwiękowych był obliczany na podstawie następujących danych: częstotliwość emitowanego sygnału ultradźwiękowego wynosiła 6,75 MHz, powierzchnia przednia ścianki modelu tętnicy była w ognisku głowicy ultradźwiękowej, gęstość warstwy środkowej wynosiła 1,05 kg/m³, a wewnętrznej i zewnętrznej po 1,1 kg/m³, tłumienie fali ultradźwiękowej w tkankach wynosiło: 9,2 Np/mMHz w ścianie modelu tętnicy, 2,1 Np/mMHz we krwi i 5 Np/mMHz w otulinie modelu tętnicy [1].

3. Wyniki i wnioski

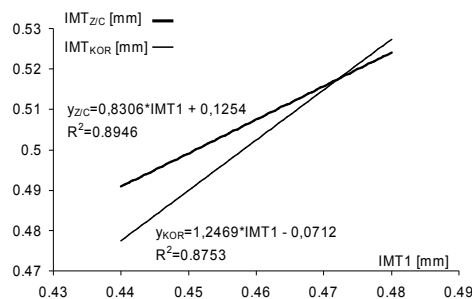
Ultradźwiękowy sygnał RF obliczony na podstawie opracowanego solvera pola akustycznego został przedstawiony dla ciśnienia rozkurczowego na rys.1.

Sygnał RF został przedstawiony za pomocą 2552 próbek pokrywających dystans 36mm oraz za pomocą 65 sekwencji czasowych od ciśnienia rozkurczowego do ciśnienia skurczowego. W czasie badania IMT, bramka zasięgowa (rys.1) była ustawiana w obszarze drugiej grupy ech od tylnej powierzchni ściany modelu tętnicy w obszarze pomiędzy

ultradźwiękowymi echemi pochodzącymi od warstwy wewnętrznej i echemi pochodzącymi od warstwy zewnętrznej. Porównanie wartości IMT_1 – wynikających z modelu teoretycznego i wartości IMT obliczonych za pomocą metody zero-crossing oraz metody korelacyjnej przedstawiono na rys. 2.



Rys.1. Ultradźwiękowy sygnał RF obliczony za pomocą solwera numerycznego dla ciśnienia rozkurczowego. Bramka zasięgowa wskazuje na wymiar grubości warstwy IMT . Punkt 13,5 mm na osi odciętych odpowiada środkowi tętnicy w odległości 25 mm od głowicy ultradźwiękowej, A_r – względna amplituda (w stosunku do maksymalnej wartości amplitudy sygnału RF).



Rys.2. Porównanie między rzeczywistą wartością IMT_1 a obliczonymi wartościami IMT_{ZC} –metodą zero-crossing i IMT_{KOR} – metodą korelacyjną.

Opracowany model teoretyczny tętnicy, solwer pola akustycznego, solwer toru elektronicznego oraz solwer układu śledzenia echa ultradźwiękowych, pozwalają na modelowanie zmian grubości warstwy IMT tętnicy, będącej ważnym wskaźnikiem przy badaniach własności elastycznych ścian tętnic.

Praca naukowa została sfinansowana z projektu badawczego Nr 3 T11E011 29 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2005-2007.

Literatura

- [1] Z. Trawiński, T. Powalowski, *Modeling and ultrasonic examination of common carotid artery wall thickness changes*, Archives of Acoustics, 31 (Supplement), 29-34, (2006).
- [2] T. Powalowski, J. Wójcik, Z. Trawiński, *Numerical solver of acoustic field in simulation of artery wall thickness examinations*, Hydroacoustics, 10, 163-168, (2007).

Ultradźwiękowe badania IMT ściany tętnicy szyjnej wspólnej

Ultrasonic examinations of IMT in common carotid artery wall

Zbigniew Trawiński, Tadeusz Powalowski, Piotr Gutkiewicz

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
E-mail: ztrawl@ippt.gov.pl*

1. Wprowadzenie

Jak wynika z doniesień literaturowych, badanie zmiany grubości warstwy wewnętrznej+ środkowej (IMT) ściany tętnicy szyjnej wspólnej jest bardzo przydatne przy ocenie stanu miażdżycy u ludzi [1]. W pracy przedstawiono wstępne wyniki ultradźwiękowych pomiarów zmian IMT na podstawie sygnału ultrasonograficznego RF.

2 Metoda i aparatura

Badanie IMT przeprowadzono w grupie 9-ciu ochotników w wieku od 22 do 71 lat bez objawów miażdżycy w obrębie tętnic szyjnych. Badania przeprowadzono w pozycji leżącej, po uprzednim poinformowaniu osób o celu i protokole badań oraz po uzyskaniu zgody tych osób na wykonanie badań ultradźwiękowych. Do badań wykorzystano 6.75 MHz aparaturę ultradźwiękową VED, opracowaną przez autorów do badań elastyczności tętnic oraz 100MHz, 14-bitową kartę akwizycji danych RF typu PDA-14 firmy Signatec.

Analizę zmian IMT w czasie pracy serca wykonywano na zapamiętanym sygnale RF za pomocą oprogramowania napisanego w języku Microsoft C++. Przy zmianie ciśnienia krwi tętnicy następuje zmiana grubości ściany tętnicy. Po wstępnej lokalizacji położenia warstwy IMT za pomocą kursorów, w drugiej grupie ech pochodzących od badanej tętnicy (rys.1), następował proces śledzenia rosnących zboczy sygnału RF metodą zero-crossing. Otrzymywano w ten sposób wartości chwilowe grubości warstwy IMT.

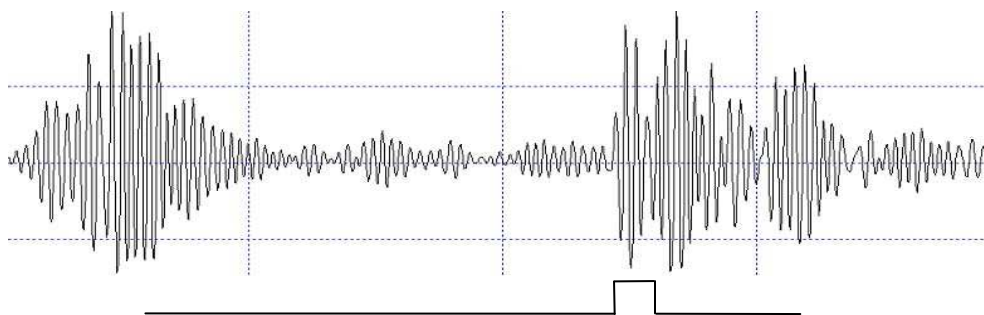
3. Wyniki i wnioski

Średnie wartości pomiarów przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wyniki pomiarów uzyskanych w grupie badanych osób

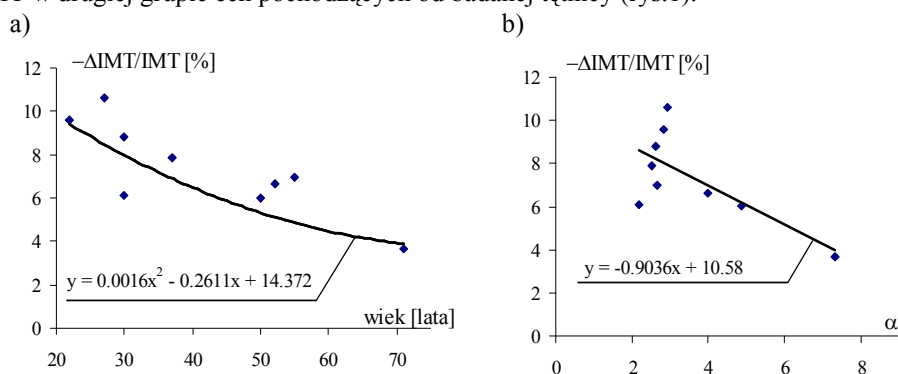
Ilość badanych osób	Średni wiek [lata]	Względna zmiana średnicy tętnicy [%]	Względna zmiana IMT [%]
9	42 ± 16	7.8 ± 2.9	7,4 ± 2.1

Ultradźwiękowy sygnał RF pochodzący od tętnicy szyjnej wspólnej został przedstawiony na rys.1.



Rys.1. Ultradźwiękowy sygnał RF pochodzący od tętnicy szyjnej wspólnej. Bramka zasięgowa wskazuje na wymiar warstwy IMT.

W czasie badania ustawia się bramkę zasięgową na spodziewany obszar występowania IMT w drugiej grupie ech pochodzących od badanej tętnicy (rys.1).



Rys.2. Wyniki pomiarów względnej zmiany IMT ściany tętnicy szyjnej wspólnej człowieka (a) - na tle hipotetycznej zależności względnej zmiany IMT od wieku [2], (b) - związek ze współczynnikiem sztywności ściany tętnicy α [3].

Uzyskane wstępne wyniki badań zmiany IMT w tętnicach szyjnych wspólnych człowieka, na drodze analizy sygnału ultrasonograficznego RF, wskazują na przydatność tej metody badawczej do oceny własności elastycznych ścian tętnic.

Literatura

- [1] H. Kanai, H. Hasegawa, M. Ichiki, F. Tezuka, Y. Koiwa, *Elasticity imaging of atheroma with transcutaneous ultrasound. Preliminary study*, *Circulation*, **107**, 3018-3021, (2003).
- [2] Z. Trawiński, T. Powalowski, *Modeling and ultrasonic examination of common carotid artery wall thickness changes*, *Archives of Acoustics*, **31** (Supplement), 29-34, (2006).
- [3] T. Powalowski, Z. Trawiński, L. Hilgertner, *Common carotid wall elasticity and intima-media thickness examination by means of ultrasound*, *Archives of Acoustics*, **25**, 2, 205-212, (2000).

Wyznaczanie tonu podstawowego drgań fałdów głosowych metodą
akustyczną i elektrolottograficzną*The acoustic and electroglottographic methods of determination the vocal folds vibration
fundamental frequency*

Wiesław Wszolek, Maciej Kłaczynski, Zbigniew Engel

*Akademia Górniczo Hutnicza im. St. Staszica, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki**Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**e-mail: wwszolek@agh.edu.pl mklaczyn@agh.edu.pl engel@agh.edu.pl*

Sygnal akustyczny mowy, rozumiany jako funkcja zmiany ciśnienia akustycznego w czasie ma skomplikowany przebieg, będący odzwierciedleniem złożonego charakteru procesu jego artykulacji. Parametry tego sygnału niewątpliwie zależą od właściwości źródła (którym są albo drgające struny głosowe, albo szum turbulentnego przepływu powietrza przez przewężenia w narządach mowy) oraz od własności dynamiczne kanału głosowego formujących strukturę tego sygnału. W przypadku artykulacji fonemów generowanych w źródle krtaniowym (pobudzenie dla głosek dźwięcznych) charakter widmowy fali głosowej związany jest z częstotliwością tonu podstawowego F_0 drgań fałdów głosowych człowieka. Większość badaczy uważa się, że przebieg tonu krtaniowego podczas fonacji zawiera bogate informacje dotyczące, cech osobniczych, stanu emocjonalnego, pochodzenia etnograficznego mówcy czy patologii traktu głosowego [1,3,4,5,6]. Deformacja sygnału mowy związana z zaburzoną pracą krtani wyraża się właśnie najczęściej zmianą parametrów drgań strun głosowych, co w konsekwencji wpływa na F_0 . Dokładne wyznaczenie funkcji tonu podstawowego staje się priorytetem w badaniach generatora głosu. Jednakże brak bezpośredniego dostępu (w sygnale mowy) do sygnału F_0 wytwarzanego przez to źródło powoduje istotny problem w jego estymacji.

Aktualnie stosowanych jest wiele metod pomiaru przebiegu funkcji tonu podstawowego drgań fałdów głosowych człowieka. Funkcja ta może być estymowana na kilka sposobów m.in. pomiarami wewnętrznymi (metodami optycznymi), pomiarami zewnętrznymi (metodą akustyczną, metodą elektryczną). Często stosowanymi metodami są metody elektryczne (EGG - Electroglottography). Metoda EGG oparta jest o rejestrację i analizę sygnału elektrolottograficznego. Jest ona nieinwazyjnym sposobem pomiaru drgań fałdów głosowych, polega na pomiarze impedancji elektrycznej pomiędzy dwoma elektrodami umieszczonymi na skórze szyi badanego, na poziomie krtani. Wadą tej metody jest konieczność stosowania stosunkowo drogiego specjalistycznego sprzętu pomiarowego, a w przypadku jej stosowania u dzieci lub osób po przeprowadzonych zabiegach chirurgicznych w rejonie krtani może być uciążliwa lub całkowicie niemożliwa.

Dzięki ciągle rozwijającym się profesjonalnym metodom rejestracji i przetwarzania sygnałów akustycznych, coraz częściej do wyznaczenia tonu podstawowego F_0 , stosowane są metody akustyczne. Istnieje kilkadziesiąt algorytmów (bazujących na sygnale akustycznym) służących do wyznaczenia tonu podstawowego F_0 z różną dokładnością. Z doniesień literaturowych wynika również, że bardzo mało badań prowadzono mierząc

jednocześnie parametry tonu podstawowego metodą elektryczną (EGG) i metodą akustyczną z sygnału mowy. W referacie przedstawiono wyniki tak prowadzonych badań, mających na celu określenie dokładności wyznaczania parametrów tonu podstawowego i przydatności tych metod. Grupę badawczą stanowiło 22 mężczyzn w wieku 20-25 lat, polskiej poprawną wymową, u których nie stwierdzono patologii mających wpływ na jakość głosu. Rejestrację czasowych przebiegów sygnału akustycznego mowy oraz sygnału EGG wykonano synchronicznie w komorze bezdechowej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH. Zadaniem każdej osoby z badanej grupy było przeczytanie powoli i bez intonacji testu fonetycznego.

W ramach tej pracy analizowano 4 samogłoski wypowiedziane przez każdą osobę (w sumie 88 obrazowań widmowych F_0), której celem było określenie różnic pomiędzy otrzymanymi widmami z sygnału akustycznego i sygnału EGG. Samogłoski te posiadają fundamentalne podłoże w badaniach stanu kanału głosowego (szczególnie głośni) ze względu na swój stacjonarny przebieg w czasie. Do oceny jakości wyznaczenia tonu podstawowego F_0 , metodą elektryczną i metodami wykorzystującymi sygnał akustyczny wykorzystano analizę częstotliwościową, analizując kształt widma tonu podstawowego wyznaczonego wyżej wymienionymi metodami. Z porównań widm tonu podstawowego wyznaczonego metodami akustycznymi i metodą elektryczną (EGG) wynika, iż metody akustyczne wyznaczania tonu podstawowego F_0 są również skutecznymi i dokładnymi metodami wyznaczającymi funkcję tonu podstawowego. Mogą być alternatywnym narzędziem w diagnostyce i terapii medycznej, a szczególnie w przypadkach pooperacyjnych, w których stosowanie EGG jest utrudnione.

Literatura

- [1] ENGEL Z., MODRZEJEWSKI M., WSZOŁEK W.: *Akustyczna Ocena operacji krtani z wykorzystaniem parametrów tonu podstawowego*. Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika, t.16, z.1, 1997, 67-79.
- [2] DELLER J.R., PROAKIS J.G., HASEN J.H.: *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, Macmillan Publishing Company, New York, 1993.
- [3] GUBRYNOWICZ R., MIKIEL W., ŻARNECKI P.: Akustyczna metoda oceny stanu źródła krtaniowego w przypadku zmian patologicznych fałdów głosowych. *Archiwum Akustyki*, 15, z.1, 1980, 3-30.
- [4] MARASEK K.: *Electroglottography description of voice quality*, Phonetic AIMS, Univesitat Stuttgart, 1997.
- [5] TADEUSIEWICZ R.: *Sygnal mowy*. WKiŁ, Warszawa, 1988.
- [6] TITZE I.R.: *Principles of Voice Production*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- [7] WSZOŁEK W., KŁACZYŃSKI M.: *Comparative study of the selected methods of laryngeal tone determination*, *Archives of Acoustics*, vol. 31 no. 4 suppl., s. 219–226, 2006.

Analiza akustyczna mowy przełykowej u chorych po całkowitym usunięciu krtani

Acoustic analysis of oesophagus speech in patients after total laryngectomy

¹Wiesław Wszolek, ²Maciej Modrzejewski, ²Monika Przysiężny

¹AGH University of Science and Technology, Department of Mechanics and Vibroacoustics
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
e-mail: wwszolek@agh.edu.pl

²Collegium Medicum UJ, 31-008 Krakow, Św. Anny 12, Poland
e-mail: m.mod@poczta.fm, bprzysiezny@rdn.com.pl

Rak krtani jest jednym z najczęściej występujących nowotworów złośliwych u mężczyzn. Zajmuje on także 5 miejsce wśród zachorowań na nowotwory złośliwe u mężczyzn. Zasadniczymi metodami leczenia raka krtani w przypadku dużego zaawansowania choroby jest leczenie chirurgiczne. W leczeniu tym najczęściej mamy do czynienia z całkowitym wycięciem narządu. Skuteczna pozabiegowa terapia powoduje wydłużenie życia pacjenta, jednak w tym przypadku pozostaje okaleczenie ograniczające porozumiewanie się pacjenta z otoczeniem. Pozostaje zatem problem wytworzenia zastępczego głosu i mowy u tych pacjentów. W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań mowy przełykowej. Mechanizm powstawania głosu przełykowego - to wytworzenie w ustach przełyku pseudogłosni - generatora drgań. Zastępczy zbiornik powietrza stanowi przełyk, a drgania ust przełyku powstające podczas ruchu antyperystaltycznego powietrza usuwanego z przełyku wytwarzają ton podstawowy. Modulacja tonu podstawowego odbywa się przez niezmienny narząd artykulacyjny oraz jamy rezonacyjne ciała. W prezentowanej pracy wykonano badania akustyczne sygnału mowy przełykowej. Podjęto próbę określenia parametrów sygnału akustycznego przydatnych do oceny jakości głosu przełykowego. Mowę przełykową charakteryzują parametry akustyczne związane z generatorem dźwięku (pseudogłosnia – rejon mięśnia pierścienno-gardłowego). Wyznaczone parametry dystynktywne głosu przełykowego są podstawą do określenia wektora cech sygnału tej mowy. Wstępnie przeprowadzone badania (33 pacjentów, po całkowitym usunięciu krtani, z wykształconą mową przełykową) wykazały, że metody akustyczne mogą być przydatne w analizie jakości mowy przełykowej oraz w ocenie stanu jej rehabilitacji.

AKUSTO-OPTYKA



ACOUSTOOPTICS

Oddziaływanie akustooptyczne z wykorzystaniem cylindrycznych fal ultradźwiękowych we wnęce rezonatora laserowego

Acousto-optic interaction with the use of cylindrical ultrasonic waves in the laser cavity

Ireneusz Grukowski

*Uniwersytet Gdański, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Akustooptyki i Fizyki Laserów
ul. Wita Stwosza 57, 80-952 Gdańsk-Oliwa, E-mail: dokig@univ.gda.pl*

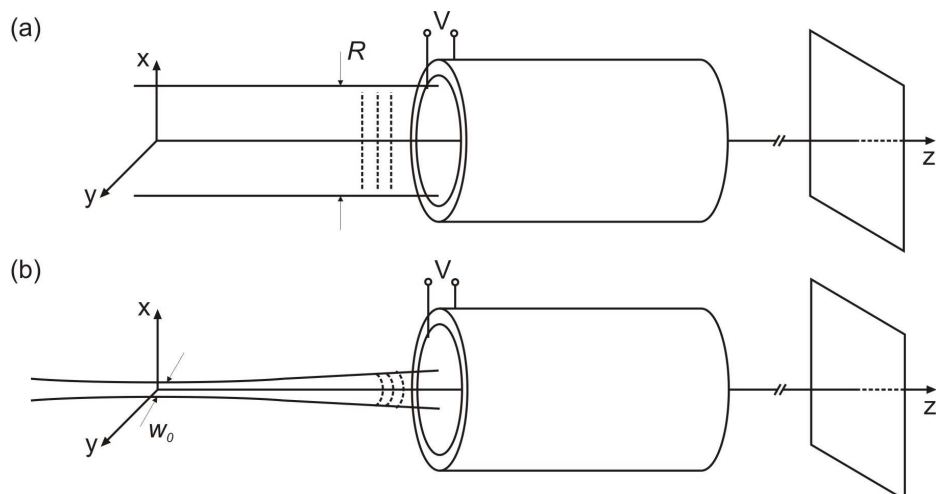
1. Wprowadzenie

Osiowe pole akustyczne wytworzyć można dzięki wprowadzeniu w drgania piezoelektrycznego przetwornika cylindrycznego spolaryzowanego radialnie. Takie pole powoduje zmianę współczynnika załamania ośrodka. Ośrodek przezroczysty, którego własności optyczne zostały zmodulowane (w czasie i przestrzeni), stanowi siatkę dyfrakcyjną dla światła przechodzącego przez ten ośrodek. Pierwsze podejście do zagadnienia dyfrakcji światła na cylindrycznych falach ultradźwiękowych jest autorstwa Hargrove'a [1-3]. Zjawisko dyfrakcji Bragga na biegnącej cylindrycznej fali ultradźwiękowej wykorzystywano również do badania rozkładu pola akustycznego o symetrii osiowej [4-6].

2. Dyfrakcja światła na cylindrycznych falach ultradźwiękowych

Ostatnio ze względu na możliwe zastosowania praktyczne zwrócono ponownie uwagę na zjawisko oddziaływania światła z falami ultradźwiękowymi o symetrii cylindrycznej [7-11]. Badania pola dalekiego dyfrakcji światła na cylindrycznych falach ultradźwiękowych w reżimie Ramana-Natha oraz w obszarze przejściowym przeprowadzono w układach akustooptycznych, przedstawionych na rys. 1. Rozważane układy zawierały bądź szeroką wiązkę świetlną o jednorodnym rozkładzie natężenia w poprzek wiązki, bądź wąską wiązkę Gaussa. Uzyskane wyniki przeprowadzonych doświadczeń wykazały bardzo dobrą zgodność z wynikami obliczeń numerycznych. Obserwowano następujące cechy charakterystyczne zjawiska oddziaływania światła z cylindryczną falą ultradźwiękową:

- koncentracja natężenia pola akustycznego pozwala na osiąganie niezwykle wysokich wartości parametru Ramana-Natha na osi symetrii rozważanego zagadnienia, co pozwala obserwować dyfrakcję światła na falach w powietrzu [12];
- rzędy dyfrakcyjne w polu dalekim przybierają kształt pierścieni o charakterystycznych profilach;
- natężenie światła w polu dalekim jest modulowane z częstotliwością równą podwojonej częstotliwości ultradźwięków;
- oddziaływanie wąskiej wiązki laserowej o profilu gaussowskim z cylindryczną falą ultradźwiękową ma charakter refrakcji bądź dyfrakcji, zależnie od stosunku szerokości wiązki świetlnej do pierwszej średnicy międzywęzłowej fali ultradźwiękowej.



Rys. 1. Geometria oddziaływania akustooptycznego.

Literatura

- [1] L.E. Hargrove. *Diffraction of a Gaussian Light Beam by Cylindrical Ultrasonic Standing Waves*. J. Acoust. Soc. Am., **49**, 120(A) (1971).
- [2] L.E. Hargrove. *Dependence of Cylindrical-Geometry Acoustooptic Light Modulator Efficiency on Light Beam Diameter*. J. Acoust. Soc. Am., **51**, 148 (1972).
- [3] L.E. Hargrove. *Diffraction of a Gaussian Light Beam by Ultrasonic Cylindrical Standing Waves*. J. Acoust. Soc. Am., **51**, 888-893 (1972).
- [4] M.G. Cohen, *Optical Study of Ultrasonic Diffraction and Focusing in Anisotropic Media*. J. Appl. Phys., **38**, 3821-3828 (1967).
- [5] M.G. Cohen, E.I. Gordon. *Focusing of Microwave Acoustic Beams*. J. Appl. Phys., **38**, 2340-2344 (1967).
- [6] Z. Kleszczewski. *Oddziaływanie światła laserowego z objętościowymi falami akustycznymi w ciałach stałych. Badania podstawowe i zastosowania praktyczne*. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice (1979).
- [7] I. Grulkowski, P. Kwiek. *Interaction of light with cylindrical ultrasonic wave*. Archives of Acoustics, **30**(4), 107-114 (2005).
- [8] I. Grulkowski, P. Kwiek. *Experimental study of light diffraction by standing ultrasonic wave of cylindrical symmetry*. Opt. Commun., **267**, 14-19 (2006).
- [9] K. Ferria, I. Grulkowski, P. Kwiek. *Acousto-optic lens based on interaction of narrow laser beam with cylindrical ultrasound*. J. Phys. IV France, **137**, 67-72 (2006).
- [10] I. Grulkowski, D. Jankowski, P. Kwiek, *Holographic imaging of cylindrical ultrasonic waves*. Archives of Acoustics, **31**(4), 137-142 (2006).
- [11] I. Grulkowski, D. Jankowski, P. Kwiek, *Acousto-optic interaction of Gaussian laser beam with the ultrasonic wave of cylindrical symmetry*. Appl. Opt., w druku (2007).
- [12] I. Grulkowski, D. Jankowski, P. Kwiek, *Interaction of light with standing cylindrical ultrasonic wave in air*. In ICUltrasonics (2007).

Analiza właściwości transformatorowych olejów izolacyjnych z wykorzystaniem zjawisk optyczno-akustycznych

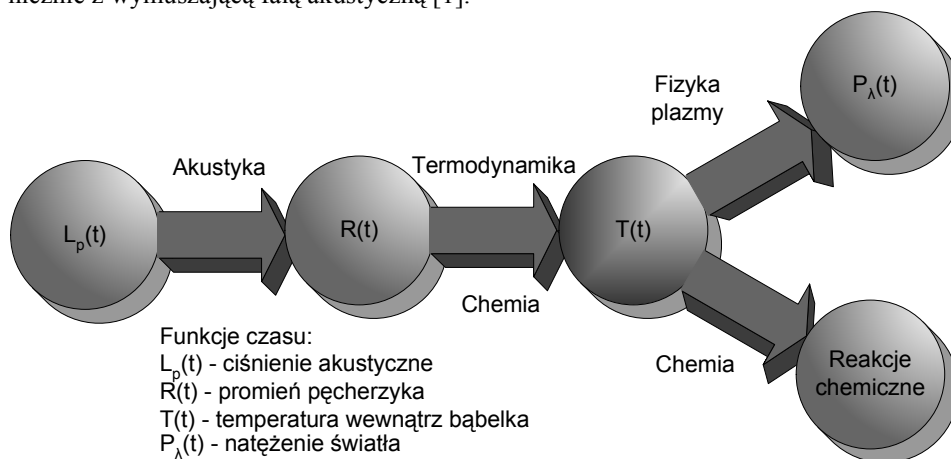
The analysis of transformer insulation oil properties using optoacoustic phenomena

Marek Szmechta, Dariusz Zmarzły, Tomasz Boczar

*Instytut Elektroenergetyki, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole
E-mail: marekszmechta@poczta.onet.pl*

1. Zjawisko sonoluminescencji

Zjawisko, w którym na skutek silnego oddziaływania ultradźwiękowej fali akustycznej na znajdujące się w cieczy pęcherzyki gazu dochodzi do wytworzenia fali świetlnej, nazywamy sonoluminescencją. Powierzchnia cieczy otaczającej pojedynczy pęcherzyk pełni rolę tłoka, który periodycznie kompresuje i dekompresuje znajdujący się wewnątrz gaz. Zjawisko to charakteryzuje emisja bardzo krótkich impulsów świetlnych (od kilku do kilkudziesięciu pikosekund) w szerokim zakresie widma pojawiających się synchronicznie z wymuszającą falą akustyczną [1].



Rys. 1. Schemat blokowy mechanizmu zjawiska sonoluminescencji

Większość istniejących teorii zakłada adiabatyczne podgrzewanie zawartości pęcherzyka towarzyszące zapadnięciu i prowadzi do osiągnięcia temperatury wewnątrz rzędu kilku tysięcy kelwinów (Rys. 1). Wyznacznikiem intensywności zjawiska jest wartość osiągniętej wewnątrz pęcherzyka temperatury, która zależy przede wszystkim od stosunku ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości, przewodności cieplnej zawartości pęcherzyka czyli mieszaniny rozpuszczonego gazu oraz pary otaczającej cieczy [2].

2. Diagnostyka olejów izolacyjnych

Właściwości olejów mineralnych stosowanych do izolacji i chłodzenia transformatorów mocy w energetyce ulegają zmianie w czasie. Wiele czynników (temperatura, wilgotność, zewnętrzne pole elektryczne) ma istotny wpływ na pogorszenie jakości oleju [3]. Wiek transformatora wiąże się z utratą właściwości izolacyjnych będących wynikiem oddziaływania termicznego na papier izolacyjny oraz elektrochemicznego rozkładu samego oleju. Zachodzące zjawiska fizykochemiczne są bardzo skomplikowane [4].

3. Podsumowanie

Podstawowym celem niniejszej publikacji jest przedstawienie możliwości wykorzystania zjawiska sonoluminescencji jako narzędzia diagnostycznego do przewidywania czasu pracy transformatora energetycznego. Podczas długoletniego czasu eksploatacji transformatora energetycznego mamy do czynienia ze stopniową utratą właściwości izolacyjnych oleju transformatorowego objawiającą się nagromadzeniem się takich związków chemicznych jak tlen, azot, wodór oraz wiele prostych węglowodorów. Istotne znaczenie w ma również ilość zawartej wilgoci, będąca objawem utleniania się celulozy oraz nieszczelności w obudowie urządzenia energetycznego.

Propozycja ta opiera się na istniejących publikacjach oraz przeprowadzonych eksperymentach podczas wielu lat badań nad zjawiskiem sonoluminescencji z wykorzystaniem roztworów wodnych, węglowodorów oraz olejów. Kolejnym etapem w procesie udowodnienia niniejszej tezy jest przeprowadzenie szeregu badań z wykorzystaniem wody, węglowodorów, olejów o zróżnicowanym stopniu zesterzenia, mieszanin substancji w różnych proporcjach oraz dokonanie analizy matematycznej i statystycznej otrzymanych wyników pomiarowych w postaci widm światła rejestrowanych za pomocą spektrometru. Należy uwzględnić przy tym subtelność zjawiska sonoluminescencji, jego wrażliwość na szereg czynników oraz brak jednoznacznie zaakceptowanej przez środowiska naukowe teorii stojącej za mechanizmem powstawania tego zjawiska.

Literatura

- [1] B. Dey, S. Aubry. *New suggestion concerning the origin of sonoluminescence*. *Physica D*, **216**, 136 (2006)
- [2] B. P. Barber, R. A. Hiller, R. Löfstedt, S. J. Putterman, K. R. Weninger. *Defining the unknowns of sonoluminescence*. *Phys. Rep.* 181, 65 (1997)
- [3] T. Boczar, D. Zmarzły. *Optical spectra of surface discharges in oil*. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Ins.* 13 (3), 632 (2006)
- [4] D. O. Zmarzły, J. Kędzia. *A noise analyzer for monitoring static electrification current*. *Jo. Electrostatics*, 63 (5), 409 (2005)

Photoacoustical method of research of physical properties
of a thin liquid film on solid surface (numerical modeling)

Oleh Mokryy¹, Jarosław Bobitski^{1,2}

¹*National University "Lviv Polytechnic", Department of Photonics
Bandera 12, 79013 Lviv, Ukraine*

²*University of Rzeszów, Institute of Technology
Rejtana 16A, 35-959 Rzeszów, Poland*

E-mail: mokom@lviv.farlep.net, bobitski@polynet.lviv.ua

Noncontact photoacoustical method for measuring of physical properties of a thin liquid film on solid surface has been considered. The numerical modelling of excitation of acoustic waves by the laser pulse and of propagation of these waves in liquid film has been carried out. A 2-D case was considered in this model. Finite elements method was used to solve the problem and explicit scheme was applied. The acoustical field on surface of liquid has been calculated depend on optical, thermal, acoustical properties and thickness of liquid. Inverse problem was considered. Physical properties are being determined from information about acoustic field. Inverse problem is being solved by multiparametric minimization of acoustic signals that were measured in several points of liquid. The optimal conditions for precise measurements were considered. The optimal conditions of measurements and influence of different factors on their precision have been studied. The method was considered for liquid thickness in the region of 50–500 μm .

AKUSTYKA MOWY



SPEECH ACOUSTICS

Automatyzacja pomiarów wyrazistości logatomowej w pomieszczeniach

Automation of the logatom intelligibility measurements in rooms

Stefan Brachmański

*Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
E-mail: Stefan.Brachmanski@pwr.wroc.pl*

1. Wprowadzenie

Jednym z ważnych elementów przekazu wiadomości jest jego jakość, która zależy zarówno od obiektywnych, fizycznych parametrów pomieszczenia, jak i od czynników subiektywnych związanych ze słuchaczami przebywającymi w tym pomieszczeniu. Pomiar jakości transmisji mowy powinny uwzględniać czynniki subiektywne przez stosowanie subiektywnych metod pomiarowych lub przez oszacowanie wyników pomiarów obiektywnych w sposób uwzględniający czynniki subiektywne. Z różnorodnych technik subiektywnych stosuje się obecnie techniki dające bezpośrednio [1] lub pośrednio [2, 3, 4, 5] ocenę MOS (*Mean Opinion Score*) w pięciostopniowej skali jakości.

2. Metoda ACR

Metoda ACR (*Absolute Category Rating*) zalecana przez ITU-T [1] polega ona na bezpośrednim określeniu jakości mowy w pięciostopniowej skali ocen. Ze względu na niezdolność słuchaczy do stabilnej i powtarzalnej oceny w skali punktowej takiej cechy, jak „jakość transmisji mowy”, konieczne jest wykonanie pomiaru dla licznej ekipy słuchaczy (większej od 12), kilku głosów po stronie nadawczej, staranne przeszkolenie i trenowanie słuchaczy. W metodzie wykorzystywane są listy testowe złożone z prostych, krótkich, nie związanych z sobą semantycznie zdań. Lista podzielona jest na grupy złożone z pięciu zdań. Słuchacze, po wysłuchaniu grupy zdań podają swoją opinię w pięciostopniowej skali jakości odsłuchu, wysiłku słuchowego lub preferowanej głośności. Ocena średnia (MOS) obliczana jest dla każdego badanego warunku transmisji mowy oraz dla każdej skali ocen, jako wynik uśrednienia po słuchaczach i mówcach. Ekipę odsłuchową stanowią osoby wybrane losowo spośród populacji użytkowników badanego sprzętu

3. Pomiar wyrazistości logatomowej – metoda tradycyjna

Pomiar wyrazistości logatomowej polega na przesłaniu przez badany kanał telekomunikacyjny logatomowych list testowych odczytywanych przez mówcę i zapisaniu ich przez słuchaczy, a następnie sprawdzeniu - przez zespół ekspertów - poprawności zapisu i obliczeniu średniej wyrazistości logatomowej. Grupę odsłuchową stanowią osoby o prawidłowym słuchu. Słuchacze zapisują odebrane logatomy na specjalnym formularzu w formie ortograficznej, ustalonej dla danego języka. Członek zespołu sprawdzającego listy testowe z badań odsłuchowych oblicza - dla każdego słuchacza i dla każdej listy logatomowej - liczbę poprawnie odebranych logatomów, a następnie wyznacza średnią wyrazistość logatomową jako stosunek poprawnie odebranych logatomów do logatomów nadanych. Metoda zalecana jest przez Polską Normę PN-T-05100 [3].

4. Pomiar wyrazistości logatomowej – metoda z wyborem (MIT-FC)

Metoda z wyborem MIT-FC została opracowana w Instytucie Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej [6, 7]. Automatyzacja pomiarów subiektywnych jest połączona z zasadniczą zmianą systemu generacji list logatomowych oraz sposobu podejmowania decyzji przez słuchacza. Komputer generuje wybrany logatom, a słuchacz wybiera właściwy według niego logatom z listy logatomów alternatywnych przedstawionych wizualnie na ekranie monitora. Sygnał testowy (logatom) pobierany jest z dysku i poprzez przetwornik C/A oraz układ dopasowujący jest przesyłany na wejście systemu nagłośnienia lub na głośnik. Przed każdym słuchaczem znajduje się monitor, na którego ekranie wyświetlanych jest siedem logatomów alternatywnych. Liczba ta ustalona eksperymentalnie pozwala na zminimalizowanie błędu metody, przy pełnym wykorzystaniu zdolności percepcyjnych słuchacza. Zadaniem słuchacza jest dokonanie wyboru prawidłowej odpowiedzi. Wszystkie prawidłowe odpowiedzi są zliczane i po zakończeniu pomiarów wynik (średnia wyrazistość logatomowa) jest wyświetlany na ekranie monitora.

5. Eksperyment

Pomiary wyrazistości logatomowej zrealizowano metodą tradycyjną i metodą MIT-FC w dwóch pomieszczeniach. Różne warunki panujące w pomieszczeniu uzyskano nagłaśniając go szumem białym o różnym poziomie natężenia dźwięku. W każdym pomieszczeniu pomiary wykonano w 4 punktach, odpowiadających rozmieszczeniu słuchaczy w salach. Listy logatomowe, odtwarzano z magnetofonu DAT poprzez zestaw głośnikowy umieszczony z przodu sali (w miejscu wykładowcy). W każdym punkcie pomiarowym sygnały testowe rejestrowano na magnetofonach cyfrowych. Tak otrzymany materiał testowy poddano odsłuchom przez ekipę odsłuchową. Pomiary wykonano metodą tradycyjną zgodnie z Polską Normą PN-T-05100 oraz metodą z wyborem (MIT-FC). Wyznaczona została zależność między wynikami otrzymanymi metodą tradycyjną i metodą MIT-FC.

Literatura

- [1] ITU-T Recommendation P.800, *Method for subjective determination of transmission quality*, (1996)
- [2] S. Brachmanski, *Assessment of Quality of Speech Transmitted over IP Networks*, Internet Technologies, Applications and Societal Impact, WITASI 2002, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-14, (2002).
- [3] PN-T-05100, *Analogowe łańcuchy telefoniczne. Wymagania i metody pomiaru wyrazistości logatomowej*, Polska Norma
- [4] D.D. Davies, C. Davies, *Application of speech intelligibility to sound reinforcement*, J. Audio Eng. Soc., **37**(12), pp. 1002-1018, (1989).
- [5] K. Mackie, *Assessment of evaluation measures for processed speech*, Speech Comm., **6**, pp. 309-316, (1987).
- [6] K. Basciuk, S. Brachmanski, *The automation of the subjective measurements of logatom intelligibility*. 102-nd Convention AE S, Munich, Prep. 4407, (1997).
- [7] S. Brachmański, *The automation of subjective measurements of speech intelligibility in rooms*, The 112th Convention AES, Monachium, Preprint 5588, (2002).

Identyfikacja fonemów nie posiadających okresu podstawowego tonu krtaniowego

Identification of the phonemes don't consist basic periods

Janusz Dulas

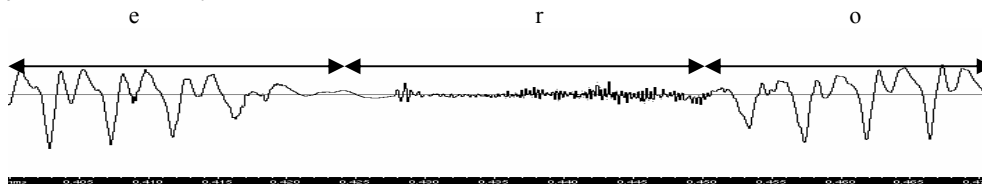
*Politechnika Opolska, ul. Sosnkowskiego 31, 45-758 Opole
E-mail: dulasj@interia.pl*

1. Wprowadzenie

Rozpoznawanie i sterowanie za pomocą sygnałów mowy staje się coraz bardziej powszechne. Mimo znacznego postępu w tej dziedzinie nadal trwają badania zmierzające do opracowania coraz lepszych i bardziej niezawodnych algorytmów identyfikacyjnych. W przypadku rozpoznawania mowy za pomocą najmniejszych jednostek fonetycznych – fonemów stopień trudności przy ich identyfikacji nie jest jednakowy. Fonemy posiadające okres podstawowy tonu krtaniowego są łatwiejsze do rozpoznania czy to za pomocą metody siatek [1], czy też korzystając z analizy widmowej [2]. Nieco trudniejszą sprawą jest rozpoznawanie fonemów, które takiego okresu nie posiadają. Tu każdy fonem należy potraktować indywidualnie i na podstawie analizy porównawczej wyłonić jego parametry charakterystyczne.

2. Analiza wypowiedzi

Aby rozpoznać dany fonem należy wpięrow określić jego granice czasowe. Na podstawie analizy odsłuchowej nie jest to zadanie specjalnie skomplikowane, jednak automatyczne wykonanie podziału wymaga przyjęcia pewnej metody. Tu również opracowano różne algorytmy [3]. Jednym z nich jest wykorzystanie metody siatek. Jak przedstawiono we wcześniejszych opracowaniach metoda ta nakłada siatki na pojedyncze okresy podstawowe tonu krtaniowego i na ich podstawie wyprowadza macierze używane do dalszych porównań. Jednak metoda ta umożliwia również odnalezienie fonemów nie posiadających okresów podstawowych. Zasada jest następująca: jeżeli obliczony czas trwania okresu podstawowego jest większy od 15ms oznacza to, iż został odnaleziony fonem nie posiadający okresu podstawowego tonu krtaniowego. Podobnie jeśli różnica czasów między początkiem wypowiedzi a pierwszym odnalezionym okresem podstawowym jest większa od 15ms oznacza to, iż wypowiedź zaczyna się od fonemu nie posiadającego okresu podstawowego. Analogicznie można postąpić w przypadku fonemu występującego na końcu wypowiedzi. Rys.1 przedstawia fragment charakterystyki czasowej wyrazu „zero”. Fonem „r” nie posiadający okresu podstawowego tonu krtaniowego umieszczony jest tu między fonemami „e” oraz „o” gdzie okres ten jest dobrze widoczny.



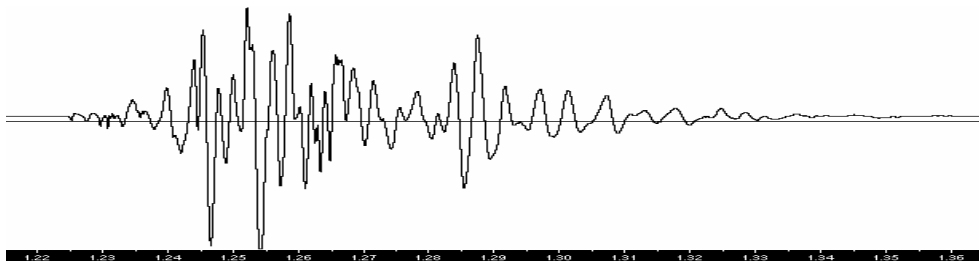
Rys.1 Przebieg czasowy 3 fonemów „e”-„r”-„o”

3. Identyfikacja fonemów

Znając granice czasowe fonemu można przystąpić do jego analizy. W przypadku fonemów nie charakteryzujących się okresem podstawowym nie ma możliwości nałożenia siatki i dokonania porównań. Wprowadzono więc tu nowe parametry, które wykazały swoją skuteczność przy analizie głosu męskiego, kobiecego i dziecięcego. Dla fonemu „r” wystarczające okazały się 3 parametry:

- 1) różnica wartości średniej sygnału i wartości średniej szumu
- 2) iloraz liczby próbek o wartościach powyżej wartości średniej szumu do liczby próbek o wartościach poniżej wartości średniej szumu
- 3) Iloraz liczby ekstremów minimum do liczby ekstremów maksimum

Jak pokazały badania parametry te mieszczące się w odpowiednich granicach (1- 0,05..1,07; 2- 0,89...3; 3-0,47...1,29) umożliwiają odnalezienie fonemu „r”. Jak wspomniano wcześniej każdy fonem ma swoje charakterystyczne właściwości i przy ich analizie konieczne jest nie raz wzięcie pod uwagę dodatkowych parametrów. Przykładem może być tu fonem „p” (rys.2), w którym obserwujemy tzw. plozję, czyli wyemitowanie w krótkim czasie znacznej energii.



Rys.2 Przebieg czasowy fonemu "p"

4. Podsumowanie

Analiza fonemów nie posiadających okresów podstawowych tonu krtaniowego jest trudniejsza od analizy tych, które takie okresy posiadają. Wprowadzone parametry przedstawione w artykule umożliwiają identyfikację niektórych z nich.

Literatura

- [1] J. Dulas. *Badania rozróżnialności fonemów mowy polskiej*. Mat. konf. MKM, 2002r.
- [2] Cz. Basztura. *Rozmawiać z komputerem*. Wyd. Format, Wrocław 1992 r.
- [3] W. Barycki. *Statystyczne związki przejść międzyfonemowych dla mowy polskiej*. Mat. Konf. OSA'1993r.
- [4] K. Demuynck, T.Laureys, *A comparison of different approaches to automatic speech segmentation*, proc. Of the 5th International Conference on Text, Speech and Dialogue, Springer_Verlag, 2002,p.277-284
- [5] P. Domagała, *Automatyzacja procesu segmentacji sygnału mowy w układzie analogowo-cyfrowym*, prace IPPT PAN, Warszawa 1995.

Identyfikacja fonemów posiadających okres podstawowy tonu krtaniowego

Identification of the phonemes consist basic periods

Janusz Dulas

Politechnika Opolska, ul. Sosnkowskiego 31, 45-758 Opole

E-mail: dulasj@interia.pl

1. Wprowadzenie

Fonemy, które są najmniejszymi jednostkami fonetycznymi występują w każdym języku, choć ich liczebność dla różnych języków jest różna. Szacuje się, że dla zbudowania ponad 96% wszystkich wypowiedzi w języku polskim wystarczający jest zestaw 37 fonemów [1]. Tak nieliczna grupa jednostek podstawowych jest powodem wielu opracowań dotyczących identyfikacji sygnału mowy w oparciu o rozpoznawanie fonemów [2, 3]. Mimo niewielkiej ich liczby rozpoznawanie sygnałów mowy, a szczególnie mowy ciągłej nie jest zadaniem prostym. Powodem jest tutaj duża zmienność parametrów opisujących poszczególne fonemy w zależności od cech osobniczych mówcy, jego stanu emocjonalnego, wad budowy traktu głosowego itp. Stąd też stale powstające i udoskonalane metody próbujące opisać sygnał mowy za pomocą różnych parametrów, możliwie zbliżonych dla różnych mówców.

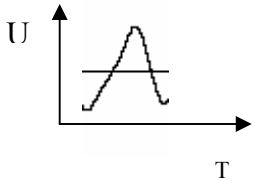
2. Identyfikacja fonemów charakteryzujących się występowaniem okresu podstawowego tonu krtaniowego

Fonemy tworzące sygnały mowy można dzielić ze względu na różne kryteria. W metodzie identyfikacji za pomocą siatek o zmiennych parametrach [4] (opracowanej przez autora) istotnym okazał się podział na fonemy charakteryzujące się występowaniem okresu podstawowego i na takie, które go nie posiadają. Do pierwszej grupy można zaliczyć wszystkie samogłoski oraz niektóre spółgłoski dźwięczne, do drugiej grupy pozostałe fonemy. Dotychczas prowadzone badania wykazały, iż można stworzyć bazę danych fonemów dla danej osoby, które mogą być wykorzystywane przy identyfikacji poleceń przez nią wydawanych. Obecnie do testowania metody siatek została użyta baza danych „CORPORA”[5] zawierająca 16425 wypowiedzi pochodzących od 45 osób różnych płci i w różnym wieku. Badania porównawcze wykazały konieczność dokonania poprawek umożliwiających zastosowanie jednej, wspólnej bazy fonemów dla wszystkich mówców.

2.1. Odnalezienie okresów podstawowych i poprawne nakładanie siatek

Aby proces nakładania siatek kodujących poszczególne fragmenty sygnału mowy przebiegał poprawnie należy najpierw stwierdzić czy konieczne jest wykonanie inwersji sygnału mowy, czy też nie. Kodowanie tego samego fragmentu wypowiedzi z inwersją i bez inwersji pokazuje tab.1.

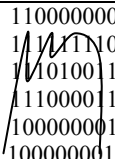
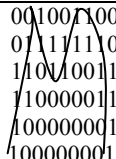
Jak wynika z tabeli macierze otrzymane po nałożeniu siatek na oba sygnały nie są identyczne. Jest to bardzo istotny problem, gdyż są one później porównywane z bazą danych, w której zapisane są macierze reprezentujące poszczególne fonemy. Po dokonaniu (lub nie) inwersji sygnału następuje proces nakładania siatek na poszczególne okresy podstawowe tonu krtaniowego. Na tym etapie powstaje od kilkunastu do ponad stu macierzy otrzymanych po zdekodowaniu siatek. Następnie macierze te są porównywane z bazą danych fonemów. Macierzom o największej liczbie zgodnych bitów z macierzami wzorcowymi przypisywane są poszczególne fonemy.

Fragment przebiegu czasowego	Macierz uzyskana po nałożeniu siatki	Macierz uzyskana po nałożeniu siatki na sygnał poddany inwersji
	001110000 001011000 111001111 111000111 110000011 100000001	000011100 000010110 000110010 111100011 111000011 110000001

Tab.1 Porównanie wyników identyfikacji dla sygnału z inwersją i bez inwersji

2.2. Kryteria dodatkowe

Nie wszystkie jednak fonemy można jednoznacznie rozróżnić w ten sposób. Przykładem może tu być macierz otrzymana dla fonemu „o” oraz „a” (tab.2). Na kombinacjach bitów naniesiono przybliżony kształt przebiegów.

Macierz dla fonemu „o”	Macierz dla fonemu „a”
	

Tab.2 Macierze dla fonemów „o” i „a”

Jak wynika z tabeli kombinacje bitów dla tych dwóch fonemów są zbliżone. W trakcie rozpoznawania należy więc uwzględnić dodatkowe kryteria. W przypadku fonemów „o” i „a” wystarczającym okazało się zbadanie kształtu obwiedni.

3. Podsumowanie

Rozpoznawanie sygnałów mowy za pomocą identyfikacji fonemów w niej zawartych wydaje się coraz bardziej realne. Coraz bardziej wyrafinowane metody oraz coraz bogatsze bazy danych z nagraniami różnych mówców umożliwiają budowę systemów o coraz większej niezawodności.

Literatura

- [1] Cz. Basztura. *Rozmawiać z komputerem*. Wyd. Format, Wrocław 1992 r.
- [2] W. Barycki. *Statystyczne związki przejść międzyfonemowych dla mowy polskiej*. Mat. Konf. OSA'1993r.
- [3] E. Hosimi. *Speaker independent speech recognition method using phoneme similarity vector*. ICLSP 1994.
- [4] J. Dulas. *Badania rozróżnialności fonemów mowy polskiej*. Mat. konf. MKM, 2002r.
- [5] *Baza nagrań sygnałów mowy „CORPORA”*. Instrukcja użytkownika. Politechnika Poznańska 2000r.

Detekcja i usuwanie mlasków z nagrań lektorskich

Detection and removal of 'smacking' noise from lector speech records

Marek Jaskuła*, Hanna Peruzińska**

*Politechnika Szczecińska, Wydział Elektryczny, 26 Kwietnia 10, 71-126 Szczecin,

**Absolwentka Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej

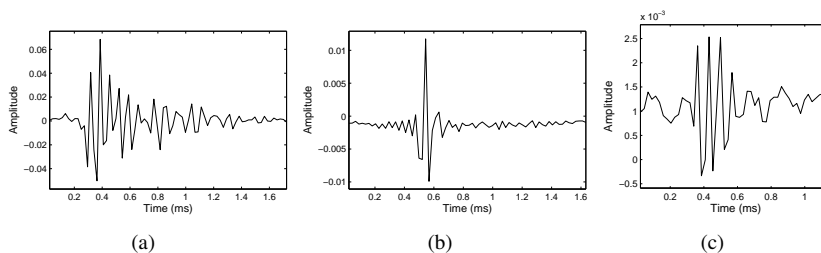
E-mail: Marek.Jaskula@ps.pl, Hankape@wp.pl

1. Wprowadzenie

Zagadnienie usuwania artefaktów z nagrań lektorskich jest bardzo istotne ze względu na to, że często zachodzi potrzeba wykonania nagrania z udziałem lektora, którego wymowa odbiega od ideału. Mlaski są jednym z dotkliwszych artefaktów wynikających ze słabości artykulacji lektora. Nie tylko zmieniają zrozumiałość nagrania ale mogą także irytować słuchacza uniemożliwiając skupienie się na przekazywanej treści. Obecnie mlaskanie jest eliminowane z nagrań ręcznie. Proces ten jest czasochłonny i wymaga sporego doświadczenia. Opracowanie metody automatycznej eliminacji mlasków znacznie przyspieszyłoby i ułatwiło edycję nagrań lektorskich.

2. Materiał oraz metoda detekcji i usuwania artefaktów

Przeanalizowane zostały dwa nagrania otrzymane ze studia nagrań: 2 minutowe nagranie lektorki mówiącej w języku polskim i ponad 20 minutowe nagranie lektora mówiącego w języku angielskim. W obu nagraniach wystąpiło około 600 artefaktów na minutę. Czas trwania zaobserwowanych zakłóceń wahał się od 0.2 ms do 7 ms. Charakter artefaktów postrzeganych przez słuchacza jako mlask jest bardzo różny. Pojedyncze zakłócenie składa się z grupy impulsów o amplitudzie o wiele większej od amplitudy otaczającego dźwięku. (por. Rys. 1).

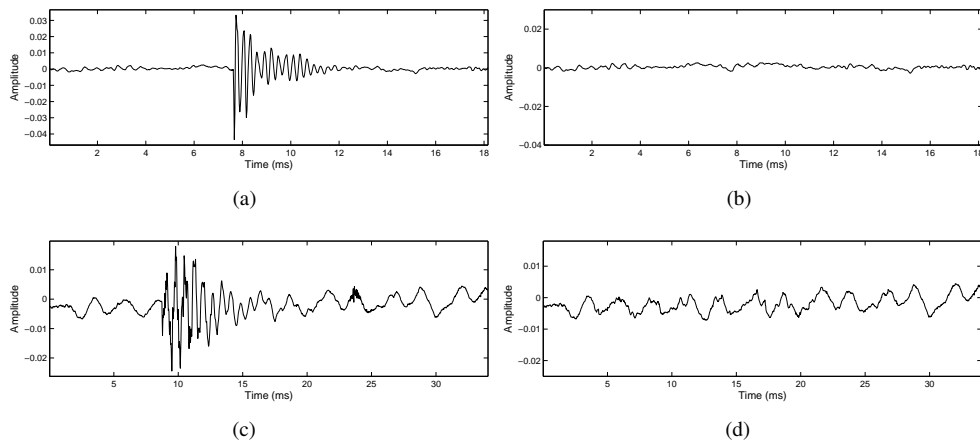


Rysunek 1. Różne typy mlasków zaobserwowane w otrzymanym materiale dźwiękowym

Opracowany algorytm detekcji i usuwania mlasków składa się z kilku podstawowych etapów: 1) detekcja początków zakłóceń i detekcja końców zakłóceń (detekcja w dziedzinie

czasu), 2) znalezienie punktów przejścia sygnału przez zero (na lewo od wykrytego początku, na prawo od wykrytego końca zakłócenia), 3) modyfikacja wskazanych w procesie detekcji fragmentów sygnału (dokonywana za pomocą transformaty falkowej), 4) wygładzanie krańców zmodyfikowanych przedziałów w celu zmniejszenia ewentualnych skoków amplitudy.

Dzięki temu, że mlaski dodają się do oryginalnego przebiegu, informacja o jego pierwotnym kształcie zostaje zachowana. Możliwe jest łatwe odtworzenie zniekształconego sygnału w procesie usuwania zakłócenia. Żeby odzyskać prawidłowy przebieg sygnału wystarczy oddzielić elementy należące do mlasku od użytecznych składowych sygnału. Taki rozkład sygnału może być przeprowadzony za pomocą dyskretnej transformaty falkowej (DWT). Dokonując wielopoziomowej dekompozycji sygnału za pomocą DWT, a następnie syntezy współczynników, niosących informację tylko o użytecznych elementach sygnału (za pomocą IDWT) otrzymujemy sygnał wolny od zakłóceń.



Rysunek 2. Wyniki działania algorytmu: a, c – oryginał; b, d - po korekcji

Przedstawiony sposób postępowania jest skuteczny, jakość nagrania w miejscu występowania artefaktu ulega zdecydowanej poprawie a w pozostałych pozostaje niezmienną. Dalsze prace będą polegały na przyspieszeniu całego procesu i zwiększeniu skuteczności wykrywania nietypowych artefaktów.

Literatura

- [1] Godsill S.J., Rayner P.W.: *Digital Audio Restoration. A Statistical Model Based Approach*. Springer - Verlag London Ltd, London, 1998.
- [2] Perużyńska H.: *Analiza i przetwarzanie wybranych typów artefaktów dźwiękowych z wykorzystaniem programu Matlab i języka Nyquist*. Praca magisterska - promotor M. Jaskuła, Politechnika Szczecińska, 2007.
- [3] Vaseghi S.V.: *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*. John Wiley & Sons, Ltd , Chichester, 2000.

Opracowanie polskiego testu trypletowego zrozumiałości mowy i jego
wstępna weryfikacja*Polish Digit Triplet test for auditory screening: development and initial evaluation*

Edward Ozimek, Dariusz Kutzner, Aleksander Sęk, Andrzej Wicher

*Instytut Akustyki Uniwersytet Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań
E-mail: ozimaku@amu.edu.pl, konsbol@onet.pl, oleksek@amu.edu.pl, awaku@amu.edu.pl*

Testy liczbowe służące badaniu zrozumiałości mowy są jak dotychczas szeroko wykorzystywane w audiometrii mowy zarówno w badaniach klinicznych [1], jak i przesiewowych [2]. Materiał dźwiękowy tego typu jest używany w wielu językach głównie z uwagi na jego prostotę. Odrębną, w pewnym sensie, kategori(ę)ą testów zrozumiałości mowy zawierając(ych)ą jedynie liczebniki proste, są szeroko rozumiane testy cyfrowe, tzn. np. pary cyfr 2-6, 9-4 (wymawiane jako dwa, sześć lub dziewięć, cztery) lub też tzw. tryplety cyfrowe, np. 1-5-3 (wymawiane jako jeden pięć trzy). Testy trypletowe mają szereg zalet w porównaniu ze standardowymi testami liczbowymi (np. liczebnikami prostymi, czy też złożonymi). Ich zastosowanie prowadzi zwykle do dużego nachylenia (S_{50}) funkcji psychometrycznej (PF) (zależność procentu poprawnie odtworzonych do całkowitej liczby nadanych trypletów w funkcji stosunku sygnału do szumu, SNR), a próg zrozumiałości mowy (*Speech Reception Threshold*, SRT) charakteryzuje się bardzo małym odchyleniem standardowym. Pomimo, że SRT uzyskiwane za pomocą testów trypletowych jest znacząco niższe niż dla testów zdaniowych, to wyniki (obu typów) tych testów są ze sobą wysoce skorelowane [2]. Jednak trzeba podkreślić, że ponieważ testy trypletowe składają się z bardzo ograniczonej liczby słów, to nie odzwierciedlają one w pełni żywego języka, ani jego składu fonematycznego [3], a rezultaty uzyskiwane za ich pomocą należy traktować jako badanie (skrinigowe) przesiewowe. Zaletą jednak tych testów jest to, że ponieważ materiał dźwiękowy trypletów stanowią ciągi cyfr, test taki może być przeprowadzony za pomocą nie tylko internetu, ale również za pomocą telefonu, jako badanie przesiewowe. Testy trypletowe dostępne są dla wielu języków (np. niemiecki, duński, angielski itd.) i brak tego typu testu dla języka polskiego skłonił autorów niniejszej pracy do opracowania takiego testu dla naszego języka.

Jedną z podstawowych zasad jakie powinien spełniać test trypletowy, jest jego jednorodność w sensie budowy i długości zastosowanych słów. Ponieważ liczebniki proste języka polskiego są, w odróżnieniu od niektórych innych języków, w większości dwusylabowe, zastosowanie tylko jednosylabowych liczebników zużyłoby znacząco materiał dźwiękowy. Dlatego też w proponowanym teście trypletowym zastosowano zarówno jedno jak i dwusylabowe liczebniki proste, co pozwoliło na wygenerowanie 10^3 różnych trypletów. Jednak z tej liczby trypletów wyeliminowano wszystkie te, w których dana cyfra występowała więcej niż dwa razy, co ograniczyło liczbę trypletów do 720. Kolejne ograniczenie przeprowadzono w oparciu o założenie jednakowego, w przybliżeniu, prawdopodobieństwa pojawiania się cyfr w danym miejscu trypletu. Założenie to ograniczyło liczbę trypletów do 160.

Wybrane tryplety odczytywane przez mężczyznę w naturalny sposób nagrano w studiu nagrań i wstępnie podzielono na bloki po 40 trypletów. Tryplety te prezentowano następnie słuchaczom na tle tzw. *babble noise* (BN) w celu wyznaczenia SRT oraz nachylenia funkcji psychometrycznej (S_{50}) dla każdego trypletu, by w konsekwencji dokonać finalnego podziału 160 trypletów na ekwiwalentne (dające w granicach błędu ten sam SRT i S_{50}). Szum BN został wygenerowany poprzez zsumowanie wszystkich nagranych trypletów (uwzględniając przesunięcie w czasie i odwracając w czasie połowę z nich). Dzięki temu szum ten miał widmową gęstość mocy taką samą jak zastosowane finalnie tryplety i uwzględniał charakterystykę widmową mowy polskiej jak i liczebników prostych. W badaniach odsłuchowych wzięło udział 50 osób o słuchu prawidłowym. Każdemu ze słuchaczy prezentowano każdy tryplet siedem razy, tj. dla każdej, przyjętej na podstawie badań wstępnych, wartości SNR. Tylko dwukrotnie, w całości poprawnie powtórzony tryplet (cyfry i ich kolejność), traktowano jako odpowiedź poprawną.

Zgromadzone dane pozwoliły na dopasowanie funkcji psychometrycznych (PF) dla każdego trypletu za pomocą metody najmniejszych kwadratów, korzystając ze skumulowanej krzywej gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego, a w Konsekwencji na określenie SRT oraz nachylenia PF, tj. S_{50} , dla każdego trypletu.

Wybór ostatecznych czterech list trypletowych, po 25 trypletów każda, dokonany był (wobec) według następujących reguł: SRT wybranego trypletu nie powinno różnić się od średniego SRT wyznaczonego dla 160 trypletów o więcej niż 1 dB a nachylenie S_{50} powinno być nie mniejsze niż 13 %/dB. Doprowadziło to do wyboru 100 trypletów dla których średni SRT=-9.4 dB a nachylenie PF, S_{50} =21.4 %/dB. Ostatecznie zbiór 100 trypletów pozwolił na stworzenie czterech list, z których każda prowadziła do SRT =-9.4±0.1 dB oraz S_{50} =21.4±1 %/dB. Listy te były więc statystycznie ekwiwalentne oraz zrównoważone fonematycznie względem rozkładu występowania fonemów we wszystkich trypletach. Zrównoważenie fonematyczne testów trypletowych względem rozkładu fonemów w języku polskim jest niemożliwe z uwagi na zaledwie 10 słów tworzących test.

Kolejny etap prowadzonych badań dotyczył tzw. retestu, czyli eksperymentalnej weryfikacji zaproponowanych list. W tym zakresie przeprowadzono dwa niezależne eksperymenty: pomiar zrozumiałości testów trypletowych w oparciu o metodę stałych bodźców oraz o metodę adaptacyjną. W badaniach tych wzięła udział nowa grupa słuchaczy, którym prezentowano cztery listy trypletowe w tym samym porządku czasowym, aby stwierdzić ewentualny efekt uczenia się. Badania te pokazały, że średnie SRT dla wszystkich list jest równe -9.7 dB a S_{50} =20.6 %/dB co jest bardzo bliskie średnim SRT i S_{50} uzyskanym dla wszystkich trypletów. Nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu porządku prezentowania czterech dostępnych list na SRT i S_{50} , co sugeruje brak wystąpienia efektu uczenia się. Podobne rezultaty uzyskano w ramach procedury adaptacyjnej, dla której średnie SRT dla wszystkich list jest równe -10 dB.

Zgodność rezultatów uzyskanych w eksperymentach weryfikacyjnych pozwala stwierdzić, że cztery listy trypletowe stanowiące test, mogą stanowić użyteczne narzędzie do (skringowych) przesiewowych badań zrozumiałości mowy.

Literatura

- [1] H. Fletcher, *Speech and hearing*. 1929, New York: Van Nostrand.
- [2] C. Smis, *Hearing screening by telephone*. 2005, VU Medical University Center: Amsterdam.
- [3] W. Jassem, *Podstawy fonetyki akustycznej*. 1973, Warszawa: PWN.

Śpiew gardłowy jako przykład niekonwencjonalnego wykorzystania traktu głosowego człowieka

Throat singing – example of unconventional use of human vocal tract

G. Pyda

Akademia Górniczo Hutnicza Al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków

E-mail: pyda@student.agh.edu.pl

1. Wprowadzenie

Śpiew gardłowy, inaczej zwany alikwotowym (ang. throat singing, overtone singing) pochodzi z Tuwy – autonomicznej republiki Federacji rosyjskiej, leżącej na granicy z Mongolią. Jest to śpiew polifoniczny, co znaczy, że wokalista emituje dźwięk o złożonej strukturze harmoniczej, składającej się z kilku rozróżnialnych dźwięków. Technika śpiewu gardłowego pozwala na modulowanie jednej lub kilku składowych, co tworzy niespotykaną przy użyciu normalnych technik barwę, jak również pozwala jednemu wykonawcy śpiewać melodie dwugłosowe. Artykuł ten jest próbą przedstawienia techniki śpiewu gardłowego oraz wytlumaczenia modelu jego powstawania.

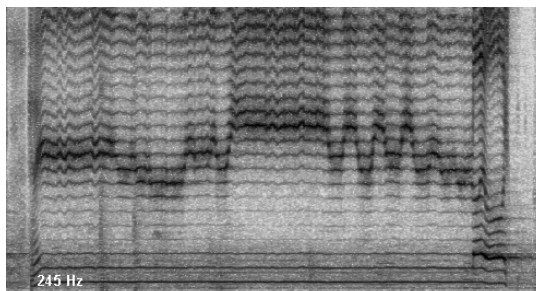
2. Mechanizm powstawania śpiewu gardłowego

Najogólniej tworzenie się dźwięków mowy i śpiewu zaczyna się w krtani, gdzie powstaje ton krtaniowy – dźwięk o czystym widmie opadającym około 10 dB na oktawę. Ton krtaniowy jest następnie odpowiednio kształtowany przez poszczególne narządy traktu głosowego, nazywane rezonatorami. W tak ukształtowanym dźwięku pojawiają się formanty, czyli obszary koncentracji energii w widmie dźwięku. Śpiew gardłowy powstaje w taki sam sposób – poprzez odpowiednie kształtowanie tonu krtaniowego. Mechanizm tego kształtowania nie jest jeszcze do końca zrozumiany. Przypuszcza się, że wzmocnienie harmonicznym wynika z połączenia trzech zależnych od siebie elementów: dostrajania formantu do konkretnej kolejnej harmoniczej, formowania cyklu otwarcia i zamknięcia strun głosowych oraz wyostrzanie zakresu rezonansu dla dostrojonego formantu.

3. Analiza czasowo – częstotliwościowa śpiewu gardłowego

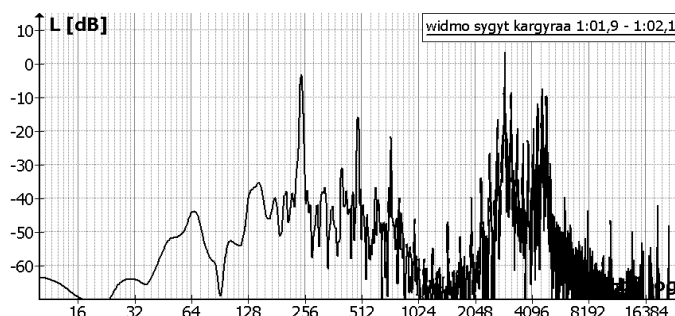
Analizie poddano dwa tradycyjne utwory muzyki tuwiańskiej. Z każdego z nich wybrano po dwa ok. dziesięciosekundowe fragmenty charakterystyczne dla poszczególnych stylów śpiewu gardłowego (wyróżnia się cztery style śpiewu gardłowego: *sygyt – świst, samogłoskowy, gardłowy, kargyraa*). Zostały wykreślone spektrogramy o liniowej skali częstotliwości, w zakresie 0 – 5000 Hz. Pasma ograniczono, ponieważ w zakresie powyżej 5 kHz udział częstotliwości jest niewielki. Rys. 1 przedstawia jeden ze spektrogramów. Jest to fragment przedstawiający styl sygyt. Ton krtaniowy w tym fragmencie wynosi w przybliżeniu 245 Hz. Na rysunku widać, jak duża część energii skoncentrowana jest w pierwszym formancie. Widać również doskonale jak zmienia się częstotliwość środkowa formantu. W pierwszym fragmencie centrum formantu przypada na

dziesiątą harmoniczną, później zmienia się. W środkowym fragmencie częstotliwością środkową jest dwunasta harmoniczna, na końcu natomiast trzecia.



Rys. 1 Spektrogram, styl sygyt, fragment 0:58 – 1:07

Zostały również wykreślone widma z próbek o czasie 200 ms o logarytmicznej skali częstotliwości w celu porównania poziomów poszczególnych harmoniczných. Rys. 2 przedstawia widmo środkowej części fragmentu przedstawionego na rys. 1. Widać na nim znaczący udział dwunastej harmoniczných o częstotliwości ok. 2940 Hz, która poziomem przewyższa ton podstawowy o 8 dB, oraz zakresu i środka w dwudziestej czwartej harmoniczných ok 5880 Hz, która jednocześnie jest drugą harmoniczną od 2940 Hz. Widać również jak bardzo tłumiony jest zakres 1 – 2,5 kHz, co ułatwia rozróżnianie harmoniczných jako oddzielnych zjawisk dźwiękowych.



Rys. 2 Widmo, styl sygyt, fragment 1:01,9 – 1:02,1

4. Podsumowanie

Dźwięk śpiewu gardłowego jest to zwyczajny dźwięk o strukturze harmoniczných, jednak tak silnie filtrowany, że można rozróżnić jego składowe jako dwa różne dźwięki. Zjawisko potwierdza ogromne możliwości aparatu głosowego człowieka, lecz nie da się go zrozumieć nie słysząc go.

Literatura

- [1] F.Alton Everest. *Podręcznik Akustyki*. Sonia Draga, Katowice (2004).
- [2] <http://www.sciam.com>

Badania odporności opartego o GMM systemu weryfikacji głosu na zniekształcenia transmisji VoIP

Tests of robustness of GMM speaker verification in VoIP telephony

Piotr Staroniewicz

*Institut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Politechnika Wroclawska
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wroclaw, E-mail: piotr.staroniewicz@pwr.wroc.pl*

1. Wprowadzenie

Badania wpływu transmisji VoIP (ang. *Voice over Internet Protocol*) na sygnał mowy nabierają od niedawna dużego znaczenia ze względu na coraz większy udział telefonii Internetowej. Wpływ transmisji VoIP na identyfikację mówcy był częściowo przedstawiony w poprzednich pracach autora [6,8]. Znacznie ważniejszym z punktu widzenia zastosowań komercyjnych jak i poprawy bezpieczeństwa (dane biometryczne) wydaje się jednakże problem skutecznej weryfikacji głosu w przypadku sygnału przesyłanego w specyficznych warunkach transmisji pakietowej.

2. Zastosowany system weryfikacji głosu

W testowanym systemie weryfikacji zastosowane zostały standardowe procedury przetwarzania wstępnego: preemfaza (współczynnik 0.95), okienkowanie (20ms okno Hamminga z przesunięciem 10ms), FFT (512 próbek i 35 kanałowy bank filtrów) aby uzyskać 108-wymiarowy wektor parametrów (35 współczynników UFCC, log energii i odpowiadające im współczynniki Δ i $\Delta\Delta$) był wycentrowany (CMS). Modelowanie statystyczne wykonane było z wykorzystaniem GMM (ang. *Gaussian Mixture Models*) obecnie najskuteczniejszej metody klasyfikacji w systemach weryfikacji głosu [2,5] z modelem tła (UBM), normalizacją T_{norm} i kohortą 39 najlepszych imitatorów.

3. Baza danych

Zastosowano próbki głosu z multimedialnej bazy XM2VTSDB (ang. *Extended Multi Modal Verification for Teleservices and Security*) zawierającej nagrania 295 głosów, około 2,5 minuty nagrania na osobę (ciągi cyfr i zdanie w języku angielskim). Oryginalne nagrania (PCM 32kHz, 16bitów) zostały zdegradowane do 8kHz i przekodowane kodekami G.711 i G.723.1 oraz ostatecznie poddane procesowi utraty pakietów z wykorzystaniem dwustanowego modelu Gilberta [1,7,8]. Zamodelowane zostały trzy warunki panujące w sieci: idealne (bez utraty pakietów), przeciętne ($p=0,1$ i $q=0,7$) oraz złe ($p=0,25$ i $q=0,4$). Mówcy zostali podzieleni na klientów (200 głosów), imitatorów (impostorów) do stworzenia modelu tła i normalizacji wyników (40 głosów) oraz imitatorów wykorzystywanych podczas testów (55 głosów).

4. Wyniki i wnioski

Wyniki równej stopy błędów (ang. *Equal Error Rate*) przedstawiono w Tabeli 1. Podczas weryfikacji niezdegradowanych danych dla obu metod parametryzacji (UFCC i LPCC) uzyskano 100% skuteczność. Ograniczenie pasma do 4kHz negatywnie wpłynęło na skuteczność powodując wzrost EER do poziomu 0,67%. Kodowanie zgodnie ze standardem G.711 praktycznie nie wpłynęło na skuteczność weryfikacji. Zastosowanie kodeka G.723.1 istotnie obniżyło wydajność systemu, powodując wzrost EER nawet do wartości 9% przy złych warunkach transmisji. Wpływ utraty pakietów na skuteczność systemu był porównywalny z wpływem kodowania. Utrata pakietów wprowadza przerwy w wypowiedzi, które przyczyniają się do zmniejszenia ilości ramek użytecznych oraz zaburzają strukturę czasową co jest szczególnie istotne w przypadku współczynników Δ i $\Delta\Delta$.

Tabela 1. Wyniki równej stopy błędów (EER) przy weryfikacji dla przypadków bez degradacji, trzech rodzajów kodowania (8k, G.711 i G.723), trzech warunków panujących w sieci (bez utraty pakietów, przeciętnych i złych) oraz dwóch metod parametryzacji (UFCC i LPCC).

	- bez utrady	8k bez utrady	8k przec. war	8k złe war.	8k G.711 bez utrady	8k G.711 przec. war.	8k G.711 złe war.	8k G.723 bez utrady	8k G.723 przec. war.	8k G.723 złe war.
UFCC	0.00	0.67	0.75	2.25	0.75	0.83	2.08	3.17	4.33	9.00
LPCC	0.00	0.75	1.50	2.96	0.83	0.75	2.08	2.92	4.33	8.50

Literatura

- [1] L. Besacier, P. Mayorga, J.F. Bonastre, C. Fredouille *Methodology for evaluating speaker robustness over IP networks*. Proc. of a COST 275 workshop The Advent of Biometrics on the Internet, Rome, Italy, 43-46, (2002).
- [2] F. Bimbot, et al. *A Tutorial on Text-Independent Speaker Verification*. EURASIP Journal on Applied Signal Processing **4**, 430-451, (2004).
- [3] N. Evans, J. Mason, R. Auckenthaler, R. Stamper *Assesment of speaker verification degradation due to packet loss in context of wireless devices*. Proc. of a COST 275 workshop The Advent of Biometrics on the Internet, Rome, Italy, 43-46, (2002).
- [4] A. Martin, G. Doddington, T. Kamm, M. Ordowski, M. Przybocki *The DET Curve in Assessment of Detection Task Performance*. EuroSpeech 1997, **4** 1895-1898, (1997).
- [5] D.A. Reynolds, T.F. Uatieri, R.B.Dunn *Speaker Verification Using Adapted Gaussian Mixture Models*. Digital Signal Processing **10**, 19-41, (2000).
- [6] P. Staroniewicz *Influence of Specific VoIP Transmission Conditions on Speaker Recognition Problem*. Archives of Acoustics, Vol.31, No4, 197-203, (2006).
- [7] P. Staroniewicz, W. Majewski *Methodology of Speaker Recognition Tests in Semi-Real VoIP Conditions*. Proc. of 3rd Cost275 Workshop in Hatfield, UK, 33-36, (2006).
- [8] P. Staroniewicz *Speaker Recognition for VoIP Transmission Using Gaussian Mixture Models*. Computer Recognition Systems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 739-745, (2005).

Akustyczne badania osób z zaburzeniami fonacji

Acoustic investigation of persons with phonation disorders

Jan Warchoł, Helena Gawda, Hanna Trębacz

*Katedra i Zakład Biofizyki, Akademia Medyczna w Lublinie, ul. Jaczewskiego 4, 20-090 Lublin**E-mail: janwarx@wp.pl***1. Wprowadzenie**

Przegląd akustycznych badań patologii krtani prowadzi do konkluzji, iż istnieje pewien trend w przeprowadzaniu analiz. Autorzy prac koncentrują się wokół parametrycznej oceny czynności głośni, badając bezpośrednio właściwości wyekstrahowanego tonu krtaniowego. Celem pracy było określenie wpływu przerostowych zmian organicznych strun głosowych, na strukturę całego widma głosu. Utworzony został w tym celu nowy parametr, określający równomierność rozkładu w widmie częstotliwości harmonicznych, powstałych na bazie tonu podstawowego F_0 . Zachowanie nowego parametru u osób chorych z obrzękiem lub polipem krtani porównano z klasyczną analizą parametryczną u tych chorych.

2. Metodyka badań

W pracy analizowano próbki dźwiękowe mowy osób z 2 grup badawczych. Pierwsza z nich utworzona została z osób, u których nie stwierdzono zaburzeń fonacji. W jej skład wchodziło 40 osób (20 kobiet i 20 mężczyzn) z różnych środowisk: studenci, pracownicy fizyczni i umysłowi. Drugą grupę tworzyli pacjenci Kliniki Otolaryngologii Akademii Medycznej w Lublinie z klinicznie potwierdzoną dysfonią, na skutek obrzęku Reinkego (*oedema Reinke*) lub polipów krtani (*polypus laryngis*). Grupa osób z obrzękiem Reinkego składała się z 16 kobiet i 6 mężczyzn, grupa pacjentów z polipem strun głosowych - z 12 kobiet i 6 mężczyzn. Zadaniem wszystkich badanych osób było wypowiadać polskie samogłoski „A”, „I”, „U” w odosobnieniu, z przedłużoną fonacją.

Za pomocą analizatora SVAN 912AE firmy Svantek dokonano analizy sygnału mowy w badanych grupach, metodą szybkiej transformacji Fouriera (FFT). Na podstawie widm o wysokiej rozdzielczości badano częstotliwość i amplitudę tonu krtaniowego oraz obliczano parametr (nazwany SDA) określający równomierność rozkładu częstotliwości harmonicznych, powstałych na bazie tonu podstawowego F_0 [2, 3]. Tryb wymienionych badań nazwano analizą SVAN.

W celu weryfikacji otrzymanych wyników, z tych samych próbek dźwiękowych, za pomocą programu PRAAT (autorstwa P. Boersmy i D. Weeninka) wyznaczono trzy grupy parametrów akustycznych, opisujących zachowanie tonu krtaniowego oraz zaburzenia jego częstotliwości i amplitudy. Tryb tych badań nazwano analizą PRAAT.

Wyznaczone wartości parametrów uśredniono w grupach, a następnie porównano grupy chorych z grupami kontrolnymi [1, 4]. Istotności różnic międzygrupowych określono za pomocą nieparametrycznego testu U (Manna-Whitneya), obliczanego w programie STATISTICA firmy StatSoft.

3. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych w pracy badań zróżnicowania mowy przy prawidłowej i zaburzonej fonacji przedstawiono następujące wnioski:

1. U mężczyzn i kobiet z obrzękiem Reinkego oraz u kobiet z polipem krtani stwierdzono niższą, w porównaniu do grupy kontrolnej, częstotliwość tonu krtaniowego F_0 , na skutek usztywnienia fałdów głosowych i upośledzenia ich funkcji motorycznych.
2. W grupie mężczyzn z polipem krtani stwierdzono, w porównaniu z grupą kontrolną, znacznie wyższą częstotliwość tonu krtaniowego F_0 , na skutek napięcia strun głosowych celem uniknięcia afonii.
3. Porównując wartości parametru SDA (analiza SVAN) dla osób zdrowych i pacjentów z obrzękiem Reinkego lub polipem krtani wykazano, że badane patologie powodują zaburzenia równomierności rozkładu częstotliwości harmonicznych w widmie samogłosek.
4. Średnie wartości parametrów opisujących zaburzenia częstotliwości tonu krtaniowego (analiza PRAAT) były wyższe u osób z dysfonią niż w grupie kontrolnej.
5. Dla parametrów opisujących zaburzenia amplitudy, nie stwierdzono korelacji między wynikami analiz SVAN i PRAAT w porównaniach grup kontrolnych i chorych z dysfonią.
6. Stwierdzono tylko nieliczne przypadki znaczących różnic w wartościach parametrów, między chorymi z obrzękiem Reinkego i polipem krtani. Zasadne więc było porównanie osób z grupy kontrolnej i pacjentów, u których występowały badane typy patologii krtani.
7. Po połączeniu grup patologii celem zwiększenia ich liczebności, dla parametrów SDA (analiza SVAN) i Jitter (parametr opisujący zaburzenia częstotliwości F_0 - analiza PRAAT) wykazano istotność statystyczną dla wszystkich porównań między grupą kontrolną i pacjentami z zaburzoną fonacją.

Literatura

- [1] J. Casado Morente et al., *Objective study of the voice in a normal population and in dysphonia caused by nodules and vocal polyps*, Acta Otorrinolaringologica Espanola, 52 (6), pp. 476-482, Aug/Sep 2001.
- [2] H. Gawda, J. Warchoń, *Analiza subtelnej struktury widma akustycznego mowy u osób z zaburzeniami fonacji*, LI Open Seminar on Acoustics, Gdańsk – Sobieszewo, pp. 225-228, Sep 2004.
- [3] H. Gawda, J. Warchoń, *Analysis of the subtle structure of speech acoustic spectrum for persons with phonation dysfunctions*, Archives of Acoustics, Vol. 29, No 3, p. 516, 2004.
- [4] J. Preciado, C. Perez, M. Calzada, P. Preciado, *Prevalence and incidence studies of voice disorders among teaching staff of La Rioja, Spain. Clinical study: questionnaire, function vocal examination, acoustic analysis and videolaryngostroboscopy*, Acta Otorrinolaringologica Espanola, 56 (5), pp. 202-210, May 2005.

Comparison of subjective and objective speaker recognition under voice disguise conditions

Wojciech Majewski

Wrocław University of Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

E-mail: wojciech.majewski@pwr.wroc.pl

An experiment was performed in order to compare the results of subjective and objective speaker recognition under voice disguise conditions. The experimental material consisted of the key sentence “To jest akustyka” (Eng. “This is acoustics”) spoken several times by Polish male speakers in a natural mode and under voice disguise conditions. In the subjective method the utterances were grouped in pairs and presented to the listeners, whose task was to make a decision whether a given pair of speech samples was produced by one speaker or by two different speakers. In the objective method two parametrical representations of speech (LPC coefficients and Km reflection coefficients) were utilized and a computer program for automatic speaker verification was applied. For normal speech both methods exhibited a very good effectiveness of speaker recognition and the results for the subjective method were a bit lower (98.9 % in comparison to 99.4 % for the objective method). Under voice disguise conditions, however, the results for the subjective method (92 %) were substantially better than for the objective one (77 %).

AKUSTYKA MUZYCZNA



MUSICAL ACOUSTICS

Szczególne przypadki słuchu absolutnego

Case studies on Absolute Pitch

Sylvia Makomaska^{*,**}

^{*} Uniwersytet Warszawski, ul. Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-325 Warszawa

^{**} Akademia Muzyczna im. F. Chopina, ul. Okólnik 2, 00-386 Warszawa

E-mail: smakomaska@yahoo.co.uk

1. Wprowadzenie

Słuch absolutny (SA) to zdolność do trwałego przechowywania w pamięci 12 wysokości normalnego stroju muzycznego (pełny SA) lub tylko jednej, czy też kilku z tych wysokości (częstkowy SA) [1]. Posiadacze SA są w stanie rozpoznawać (bierny SA) lub także wytwarzać (wokalnie albo przy pomocy generatora) wysokości poszczególnych dźwięków skali muzycznej (czynny SA) bez posługiwania się dźwiękiem odniesienia. SA jest zjawiskiem złożonym. Niemal każdy posiadacz SA stanowi odmienny problem badawczy, stąd potrzeba potraktowania wyników wielu słuchaczy jako przypadków indywidualnych.

2. Eksperymentalne poszukiwania słuchu absolutnego

Szacuje się, że wśród muzyków kultury zachodniej częstość występowania SA wynosi ok. 3-5%. Jak do tej pory w Polsce nie było pełnych danych na ten temat, dlatego istotne stało się przeprowadzenie badań dla ustalenia, jaki procent młodzieży muzycznej posiada SA. W pierwszym etapie badaniami eksperymentalnymi objęto ponad 1100 uczniów z warszawskich i podwarszawskich podstawowych i średnich szkół muzycznych oraz studentów warszawskiej Akademii Muzycznej i Instytutu Muzykologii UW. Zastosowano specjalny zestaw testów rozpoznawania chrom muzycznych (ang. *pitch naming tests*) z dwiema różnymi prędkościami prezentowanych dźwięków: co 6 i co 2s. Miało to na celu zbadanie dokładności SA i jego uzależnienia od czasu reakcji niezbędnego dla pełnego rozpoznania wysokości. Oba testy składały się z 25 dźwięków fortepianu wybranych z obszaru 5 oktaw. Badaniom testowym towarzyszyła ankieta, w której słuchacze odpowiadali m.in. na pytania dotyczące przebiegu edukacji muzycznej, występowania SA w rodzinach, a także szczegółowych cech posiadanego słuchu muzycznego. Wyniki ankiety, skorelowane z rezultatami testów słuchowych miały umożliwić wytypowanie osób dysponujących różnymi rodzajami SA oraz dostarczyć informacje, które mogłyby przyczynić się do wyjaśnienia kwestii pochodzenia SA.

W drugim etapie badań dotyczącym zależności biernego SA od barwy dźwięku, wzięło udział 31 studentów akademii, którzy w teście fortepianowym 6s uzyskali powyżej 50% rozpoznań. Przeprowadzono dwa rodzaje testów słuchowych (z tonami prostymi i wielotonami harmonicznymi), skonstruowane analogicznie do testu fortepianowego 2s.

3. Słuch absolutny – case studies

Zastosowana metoda pozwoliła na wyodrębnienie niezwykle interesujących przypad-

ków różnych rodzajów SA. Wśród studentów akademii muzycznej zwracają uwagę wyniki słuchacza (nr 30), który wyjawiał w ankiecie, że dysponuje cząstkowym słuchem absolutnym i ma utrwalony dźwięk e. Przypadek zrzucił, że test 6s rozpoczął się właśnie od dźwięku e. Dzięki wystarczająco długim odstępstwom czasowym między kolejnymi dźwiękami i sprawnym posługiwaniem się interwałami słuchacz ten uzyskał wynik – 80% rozpoznań chromy. Procent poprawnych odpowiedzi w teście 2s okazał się być o wiele niższy (28%) zapewne ze względu na dwa czynniki: test rozpoczął się od dźwięku cis i poza tym nie było czasu na odmierzenie odległości przy pomocy interwałów muzycznych.

Ciekawym przypadkiem jest również badany oznaczony nr 44, który uzyskał w teście 6s wynik 60%, zaś w momencie rozszerzenia kategorii poprawnej odpowiedzi o ± 100 centów wynik wzrósł do 100%. Wyjaśnienie dla tej rozbieżności znalazło się w ankiecie. Badany zamieścił w niej informację o tym, że pianino, z którym miał do czynienia w dzieciństwie było nastrojone o ćwierć tonu wyżej od stroju równomiernie temperowanego. W związku z tym utrwalone w pamięci długotrwałej wzorce wysokości mają w przypadku tego słuchacza inną wartość niż zastosowane w teście zgodne ze standardem $a^1=440\text{Hz}$. Słuchacza charakteryzowała więc niepewność, czy dany dźwięk to np. c czy cis, fis czy g, w związku z czym pojawiła się duża liczba błędów półtonowych.

W najmłodszej grupie wiekowej zwraca uwagę 12-letni badany (nr 2), który w teście 6s uzyskał rezultat 64%, zaś w teście 2s – 52%. W przypadku pierwszego testu słuchacz rozpoznał wszystkie dźwięki odpowiadające białym klawiszom, natomiast tylko 3 - chromatyczne. W teście 2s dźwięki diatoniczne zostały zidentyfikowane z równie dużą poprawnością (w 92%), natomiast słuchacz ten nie potrafił nazwać ani jednego dźwięku chromatycznego. Taki wynik potwierdza hipotezę, iż SA jest umiejętnością nabywaną stopniowo. W pierwszej kolejności w pamięci długotrwałej magazynowane są wzorce diatoniczne, co byłoby zgodne z zasadą „magicznej liczby 7” [2], a następnie wysokości odpowiadające dźwiękom chromatycznym. Przepuszczalnie słuchacz ten w przyszłości rozwinię swój SA i stanie się posiadaczem pełnego SA.

Wyniki testów z drugiego etapu badań pokazały, że w przypadku niektórych słuchaczy zależność dokładności SA od barwy dźwięku jest bardzo duża. W skrajnym przypadku (nr 14) procent poprawnych odpowiedzi zmalał z 92% uzyskanych w teście fortepianowym 2s do 16% (testy z tonami prostymi i wielotonami).

Przeprowadzone badania potwierdziły, że SA jest złożonym i zarazem fascynującym zjawiskiem, które przejawia się w najróżniejszych odmianach. W celu pełnego zrozumienia tego fenomenu potrzebna jest więc indywidualna analiza poszczególnych przypadków SA.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy nr N105 028 31/3210.

Literatura

- [1] A. Bachem. *Various types of absolute pitch*. J. Acoust. Soc. Amer., **9**, 146-151 (1937).
- [2] G. Miller. *The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information*. Psychological Review **63**, 81-96 (1956).

Szorstkosc i dysonansowosc jako cechy brzmienia dzwiekow muzycznych

Perceived attributes of musical tones: roughness and dissonance

Andrzej Miśkiewicz

*Akademia Muzyczna im. Fryderyka Chopina, Katedra Akustyki Muzycznej
ul. Okólnik 2, 00-368 Warszawa, misk@chopin.edu.pl***1. Wprowadzenie**

Dysonans oznacza w muzyce niezgodne współbrzmienie dwóch lub większej liczby dźwięków (dysonans harmoniczny), albo następstwa dźwięków (dysonans melodyczny). Przeciwnościem dysonansu jest konsonans. W teorii muzyki przez setki lat dominował pogląd wywodzący się z tradycji pitagorejskiej, który zakładał, że brzmienie jest tym bardziej konsonansowe, im mniejszymi liczbami naturalnymi wyrażona jest proporcja częstotliwości dźwięków tworzących interwał. Interwały oraz akordy intonowane w tzw. systemach czystych, opartych na proporcjach liczb naturalnych, uważano za doskonałe i bardziej konsonansowe niż odpowiedniki tych interwałów i akordów w systemie równomiernie temperowanym.

Akustyczne podstawy dysonansu opisuje teoria von Helmholtza [1], wiążąca zjawisko dysonansu z wrażeniem szorstkości wywołanym przez dudnienia tonów składowych współbrzmiających dźwięków. Von Helmholtz zauważył, że maksymalna szorstkość występuje przy częstotliwości dudnień 30-40 Hz, natomiast w miarę oddalania się częstotliwości dudnień od tego zakresu szorstkość maleje. Konsonansowość współbrzmień wielotonów harmoniczných w systemach opartych na proporcjach liczb naturalnych tłumaczył tym, że przy takich proporcjach, częstotliwości niektórych tonów składowych współbrzmiających wielotonów pokrywają się i nie występują między nimi dudnienia, bądź częstotliwości dudnień znajdują się poza zakresem wywołującym silne wrażenie szorstkości.

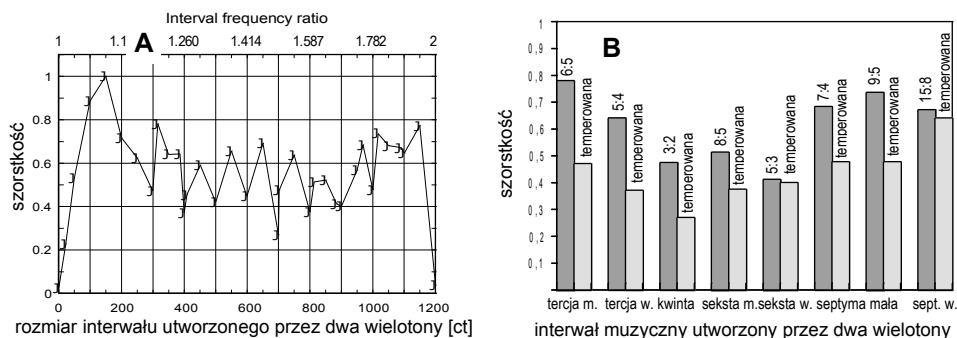
W niniejszej pracy dokonano weryfikacji założeń akustycznej teorii dysonansu na podstawie wyników najnowszych badań przeprowadzonych w Katedrze Akustyki Muzycznej Akademii Muzycznej im. Fryderyka Chopina [2]. Inspiracją do badań były publikacje Profesora Andrzeja Rakowskiego [4, 5], wskazujące na złożone powiązania między czynnikami akustycznymi i muzycznymi, które decydują o poczuciu dysonansu w muzyce.

2. Badanie szorstkości współbrzmień wielotonów harmoniczných

Słuchaczom odtwarzano za pomocą słuchawek dwudźwięki złożone z wielotonów harmoniczných zawierających po 10 składowych, o amplitudach malejących w stosunku 6 dB na oktawę. Częstotliwość podstawowa niższego wielotonu wynosiła 261,6 Hz. Zbiór badanych dwudźwięków zawierał interwały należące do systemu równomiernie temperowanego, systemu naturalnego, systemu pitagorejskiego oraz interwały różniące się o ćwierćton od interwałów równomiernie temperowanych. Badania przeprowadzono

metodą szacowania wartości absolutnej. Zadanie słuchaczy polegało na przypisaniu każdemu z dwudźwięków liczby odpowiadającej wartości odbieranego wrażenia szorstkości. Szczegółowy opis aparatury, badanych dwudźwięków oraz procedury oceny szorstkości zamieszczono w pracy Miśkiewicza i in. [2].

Na rys. 1 zamieszczono wyniki ocen szorstkości zbioru 35 dwudźwięków. Wykres z lewej strony przedstawia średnie ocen uzyskanych od grupy 16 słuchaczy. Na wykresie po prawej stronie zestawione są wartości szorstkości uzyskane dla interwałów wyrażonych proporcjami liczb naturalnych oraz interwałów równomiernie temperowanych. Dane na rys. 1 świadczą, że szorstkość znacznie zmienia się w zależności od proporcji częstotliwości, czyli rozmiaru interwału muzycznego, przy czym interwały równomiernie temperowane są odbierane jako mniej szorstkie niż interwały oparte na proporcjach liczb naturalnych.



Rys. 1. **A:** Średnie geometryczne 80 ocen szorstkości (16 słuchaczy \times 5 serii ocen) przeskalowane tak, by maksimum szorstkości wynosiło 1. Na osi odciętych oznaczono rozmiar interwału w centach. **B:** Porównanie szorstkości interwałów wyrażonych proporcjami liczb naturalnych (lewa kolumna w parze) oraz interwałów równomiernie temperowanych (prawa kolumna).

3. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań nie potwierdziły teorii zakładającej, że interwały oparte na proporcjach liczb naturalnych mają brzmienie mniej szorstkie niż interwały równomiernie temperowane. Przyczyną mniejszej szorstkości interwałów równomiernie temperowanych są powolne dudnienia zachodzące między niektórymi parami tonów składowych współbrzmiających wielotonów. Dudnienia takie, o częstotliwości poniżej około 5 Hz, są odbierane przez słuchaczy jako fluktuacje nadające barwie dźwięku cech gładkości.

Literatura

- [1] H. von Helmholtz. *Die Lehre von den Tonempfindungen als psychologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig: F. Vieweg und Sohn (1863).
- [2] A. Miśkiewicz, T. Rogala, J. Szczepańska-Antosik. *Perceived roughness of two simultaneous harmonic complex tones*. *Archives of Acoustics*, **32**(3), w druku (2007).
- [3] A. Rakowski. *Dysonans w świetle badań psychoakustycznych*. *Zeszyty Naukowe PWSM w Warszawie*, **6**, 13-36 (1978).
- [4] A. Rakowski. *Psychoacoustic dissonance in pure-tone intervals*. W: *Tiefenstruktur der Musik*, C. Dahlhaus, M. Krause (red.), TU Berlin, str. 51-67 (1982).

Krótkotrwała pamięć wysokości dźwięku u muzyków posiadających słuch absolutny

Short-term auditory memory in musicians with absolute pitch

Andrzej Rakowski^{*,**}, Piotr Rogowski^{**}

^{*} *Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Słowackiego 20, 60-823 Poznań*

^{**} *Akademia Muzyczna im. Fryderyka Chopina, Okólnik 2, 00-368 Warszawa*

e-mail: rakowski@chopin.edu.pl

1. Wprowadzenie

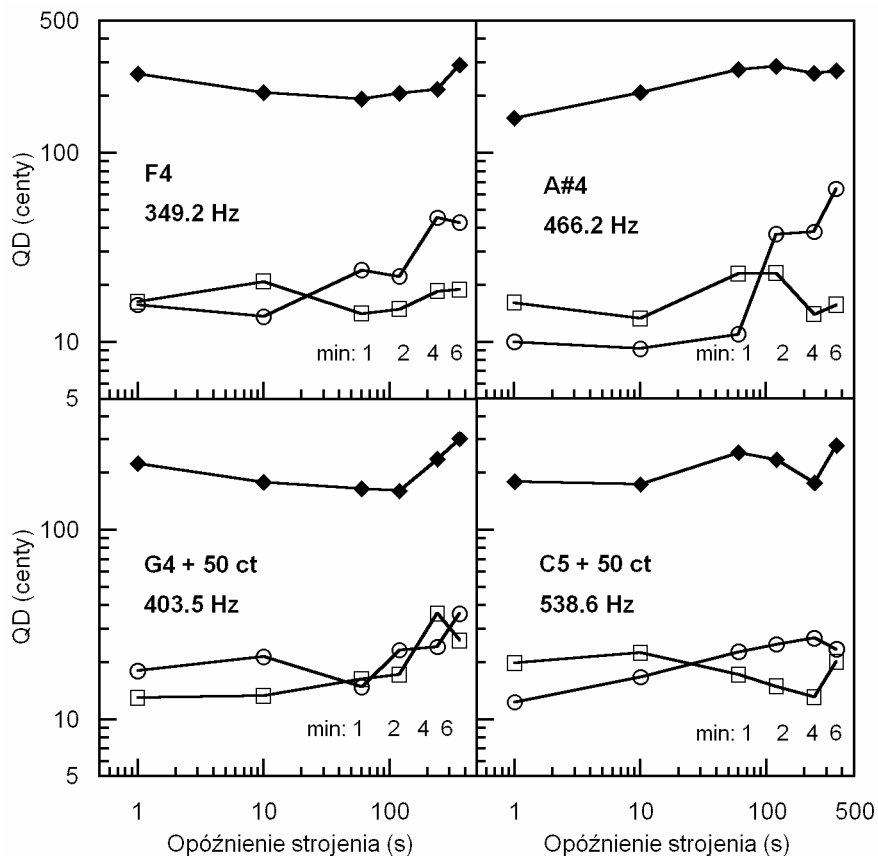
Słuch absolutny to właściwość długotrwałej pamięci słuchowej umożliwiająca niektórym muzykom trwałe zapamiętanie wysokości dźwięków znormalizowanego stroju muzycznego C, Cis, D itd. [1]. Posiadanie tej właściwości pamięci długotrwałej implikuje myśl, że wspomniane osoby, również w zakresie krótkotrwałej pamięci słuchowej mogą wykazywać pewne cechy różniące je zarówno od muzyków nie posiadających słuchu absolutnego jak od niemuzyków. Dla sprawdzenia tej hipotezy przeprowadzono niżej opisany eksperyment.

2. Porównawcze badanie krótkotrwałej pamięci wysokości u muzyków posiadających słuch absolutny oraz u osób bez słuchu absolutnego

Najprostszą metodą określenia w jaki sposób zanika ślad pamięciowy wysokości dźwięku jest metoda reprodukcji, a więc powtarzanie przez słuchaczy przedstawionej im do zapamiętania wysokości, np. przez intonację wokálną [2], lub przez nastrojenie generatora na wysokość dźwięku stanowiącą unison z wzorcem. Takie wielokrotne powtórzenia przy różnych opóźnieniach strojów stanowią zbiory danych, których miary rozsiewu mogą informować o osłabieniu śladu pamięciowego wysokości wskutek oddalenia obserwowanego wzorca w czasie. Niniejszy eksperyment wykorzystywał taką właśnie metodę dla dokonania porównań krótkotrwałej pamięci wysokości u osób z różnym rodzajem słuchu muzycznego.

Zadaniem słuchacza było dostrojenie tonu do zaprezentowanego wzorca, po upływie określonego czasu opóźnienia, który w kolejnych częściach eksperymentu wynosił 1 s, 10 s, 1 min, 2 min, 4 min i 6 min. W obrębie każdej z części wzorcami do zapamiętania były (w porządku losowym) 4 tony o wysokościach muzycznych f^1 (349,2 Hz), $g^1 + 50$ ct (403,5 Hz), a^{is1} (466,2 Hz) oraz $c^2 + 50$ ct (538,6 Hz). Dwaj muzycy o słuchu absolutnym oraz dwaj słuchacze niemuzycy wykonali po 12 nastrojeń do czterech wzorców w każdej części eksperymentu. Muzyk o słuchu relatywnym wykonał tę pracę dwukrotnie wykonując 24 dostrojenia do każdej wysokości i każdej wartości opóźnienia.

Eksperyment wykonywany był w całości pod kontrolą oryginalnie zaprojektowanego programu komputerowego, który generował tony pomiarowe, określał czasy opóźnień oraz notował dane i obliczał wyniki. Słuchacz regulował częstotści dostrajania i wydawał decyzje o osiągnięciu odpowiedniej wysokości, co jednocześnie wyzwało początek następnego zadania (ekspozycję nowego wzorca).



Rys. 1. Odchylenia ćwiartkowe (QD) zbiorów nastrojeń tonów na unison z wzorcami przy różnych opóźnieniach strojenia. Każdy punkt pomiarowy przedstawia dane z 24 nastrojeń. Symbole białe: muzycy ze słuchem absolutnym (kwadraty) i bez słuchu absolutnego (kółka); symbole czarne: niemuzycy.

Jak można wnosić z wyników przedstawionych na rysunku, krótkotrwała pamięć wysokości jest daleko bardziej precyzyjna u muzyków (symbole białe) niż u niemuzyków (symbole czarne). Pomiędzy wynikami muzyków ze słuchem absolutnym (kwadraty) i bez SA (kółka) nie wydają się występować znaczniejsze różnice.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy nr N105 028 31/3210.

Literatura

- [1] K. Miyazaki. *Musical pitch identification by absolute pitch possessors*. *Perception & Psychophysics*, **44**(6), 501-512 (1988).
- [2] A. Rakowski. *Investigating short-term auditory memory with the method of vocal pitch control*. W: A. Friberg, J. Iwarsson, E. Jansson, J. Sundberg (red.) *Proc. of the Stockholm Music Acoustic Conference – SMAC'93*, Royal Swedish Academy of Music, Stockholm, 53-57 (1993).

Aktywność muzyczna a spoczynkowe progi słyszenia kandydatów na Wydział Reżyserii Dźwięku

Musical activity and hearing thresholds in applicants to the Department of Sound Engineering

Piotr Rogowski, Elżbieta Aranowska

Akademia Muzyczna im. Fryderyka Chopina, ul. Okólnik 2, 00-368 Warszawa

E-mail: akustyka@chopin.edu.pl

1. Wprowadzenie

Związki między nadmierną ekspozycją na dźwięki muzyczne, a powstawaniem ubytków słuchu były przedmiotem wielu publikacji (por. Jaroszewski, 1998). Stwierdzono, że wśród osób narażonych na pogorszenie słuchu znajdują się m.in. bywalcy dyskotek i koncertów rockowych oraz użytkownicy przenośnych odtwarzaczy dźwiękowych. Zagrożeni są również muzycy – zwłaszcza grający na instrumentach perkusyjnych i dętych blaszanych (Rogowski et al., 2001) oraz w orkiestrach symfonicznych i zespołach rockowych. Dotychczasowe dane wydają się potwierdzać hipotezę, iż ubytki te powstają już w stosunkowo młodym wieku. Poważnym problemem w badaniach prowadzonych nad tym zagadnieniem jest równoczesne występowanie wielu czynników ryzyka, których wpływ zazwyczaj nie może być wyeliminowany lub też prowadzi do drastycznego ograniczenia liczebności badanej próby. Niniejsza publikacja stanowi próbę rozwiązania tego problemu poprzez zastosowanie zaawansowanej metody statystycznej – analizy korespondencji do analizy danych audiometrycznych pochodzących od przeszło 200 kandydatów na studia na Wydziale Reżyserii Dźwięku AMFC w latach 2002-2007, skorelowanych z wynikami ankiet dotyczących ich aktywności muzycznej.

2. Metoda badań

Dane do analizy uzyskano na podstawie pomiarów audiometrycznych wykonanych w rozszerzonym zakresie częstotliwości: 125 Hz – 16 kHz oraz ankiet obejmujących pytania o rodzaj i intensywność aktywności muzycznej. Stan słuchu badanych scharakteryzowano poprzez pięć kategorii. Trzy odpowiadały typowym u muzyków rodzajom ubytków słuchu: wysokoczęstotliwościowemu–osobliwemu przy 16 kHz, nasko-częstotliwościowemu i selektywnemu przy 6 kHz. Odnotowano brak ubytku oraz obecność w jednym lub dwu uszach (trzy poziomy). Pozostałe dwie kategorie obejmowały maksymalną wartość ubytku słuchu oraz wartość średnią progu w standardowym paśmie 250 Hz – 8 kHz (cztery poziomy).

Na podstawie danych z ankiet wyodrębniono i skategoryzowano sześć czynników o charakterze muzycznym potencjalnie mogących wpływać na stan słuchu takich jak: ekspozycje dyskotekowe i koncerty rockowe, odsłuchy muzyki poprzez domowe urządzenia dźwiękowe, korzystanie z przenośnych, słuchawkowych odtwarzaczy dźwiękowych, lata gry na instrumentach muzycznych (indywidualnej oraz w zespołach). Nadto odnotowano rodzaje instrumentów muzycznych, na których grali badani oraz wiek

badanych. Dane uzupełniono o informację o przebytych zapaleniach uszu, jako potencjalnym czynnikiem ryzyka.

Analiza korespondencji (odpowiedniości; ang. *correspondence analysis* - Benzecri, 1973; Greenacre, 1984; Aranowska i Ciok, 1992) dwóch zbiorów zmiennych nominalnych umożliwia odtworzenie ortogonalnych wymiarów odpowiedniości najlepiej dopasowanych do danych próbkowych (stanowiących nową bazę „najmniejszej” przestrzeni). Zmienne początkowe w tej nowej przestrzeni mają określone wartości współrzędnych; wartości najwyższe tych współrzędnych (zmiennych z obydwu zbiorów cech) sugerują odpowiednio silne związki zmiennych z wymiarem, i w konsekwencji, odpowiednio silne relacje zmiennych między sobą, czyli równoczesne współwystępowanie ich kategorii.

3. Wyniki i dyskusja

Bezpośrednim efektem użycia analizy korespondencji są odtworzone trzy istotne, niezależne wymiary i współrzędne zmiennych początkowych na tych wymiarach. Proporcja wyjaśnionej bezwładności (układu danych) dla pierwszego wymiaru jest najwyższa i pięciokrotnie wyższa od bezwładności wymiaru drugiego i trzeciego, toteż interpretacji merytorycznej poddaje się przede wszystkim wyniki pierwszego wymiaru.

Odpowiedniość porównywanych zbiorów cech dotyczy najsilniej współwystępowania obustronnych ubytku słuchu wszystkich analizowanych rodzajów z grą na instrumentach perkusyjnych, intensywnym uczestnictwem w dyskotekach, koncertach rockowych i itp. imprezach muzycznych z nagłośnieniem, intensywnym słuchaniem nagrań muzycznych i radia - głównie u osób powyżej 22 roku życia. Osoby te nie deklarowały przebytego zapalenia ucha.

Słabszy, ale nadal wyraźny związek aktywności muzycznej z występowaniem ubytków słuchu obserwowany jest u osób młodszych, grających na instrumentach elektrycznych (gitary, syntezatory). Są to najczęściej obustronne ubytki selektywne, ubytki wysoko- i nisko-częstotliwościowe tylko w jednym uchu przy maksymalnym obniżeniu progu słyszenia pomiędzy 20, a 30 dB w całym zakresie pomiarowym. Osoby należące do tej grupy podały w ankiecie, że rzadko słuchają nagrań muzycznych i muzyki w radiu. Wyniki wskazują również na pewne niewielkie prawdopodobieństwo wystąpienia w tej grupie ubytków słuchu wskutek przebytego zapalenia ucha.

Literatura

- [1] E. Aranowska, A. Ciok. *Związki między zmiennymi w interpretacji analizy składowych głównych i analizy korespondencji*. W E. Aranowska (red): *Wybrane problemy metodologii badań*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 133–168, (1992).
- [2] J.P. Benzecri. *L'analyse des données, Tome 2: L'analyse des correspondances*. Dunod, Paris (1973).
- [3] M.J. Greenacre. *Theory and applications of correspondence analysis*. Academic Press, London (1984).
- [4] A. Jaroszewski, T. Fidecki, P. Rogowski. *Hearing damage from exposure to music*. Arch. of Acoust., **23**, 3–31 (1998).
- [5] P. Rogowski, A. Rakowski, A. Jaroszewski. *Specific Hearing Loss in Young Percussion and Brass Wind Players Due To Music Noise Exposures*. In *Proc. The 8th International Congress on Sound and Vibration, Hong Kong*, pp. 1539–1546, (2001).

Metoda wykrywania modu C4 skrzypiec w widmie energetycznym gam chromatycznych

A method of detecting the C4 violin mode in the energy spectra of chromatic scales

Piotr Wrzeciono

Politechnika Poznańska, ul. Trybunalska 14, 60-325 Poznań
 E-mail: suigan@op.pl

1. Wprowadzenie

W multimedialnych bazach danych zawierających nagrania dźwięków instrumentów muzycznych ważna jest możliwość identyfikacji instrumentu za pomocą charakterystycznych cech jego brzmienia. W przypadku skrzypiec, takimi parametrami są częstotliwości modów, oznaczane jako C1, A0, C2, T1, C3 i C4 [1,2]. Na podstawie badań [3,4] opracowano metodę [5] pozwalającą na wyszukiwanie częstotliwości modów C1, A0, C2, T1 i C3. Niniejsza praca jest rozwinięciem tej metody i była testowana na nagraniach z multimedialnej bazy AMATI [6,7], zawierającej cyfrowe rejestracje dźwięków skrzypiec biorących udział w X Międzynarodowym Konkursie Lutniczym im. Henryka Wieniawskiego w Poznaniu. Częstotliwość próbkowania w nagraniach wynosi 44.1 kHz.

2. Metoda

Częstotliwość modu C4 znajduje się w pasmie od około 700 Hz do około 800 Hz [1,2]. Zatem poszukiwania tego modu powinny odbywać się w tym zakresie częstotliwości. Ponieważ od 650 Hz do 795.56 Hz może drgać każda ze strun [8], analizowano nagrania gam chromatycznych w tym pasmie z dokładnością 0.5 Hz. Do obliczeń widma wykorzystano DTFT [9], gdyż ta transformata umożliwia wyliczenie próbki widma dla zadanej częstotliwości. W badaniach wykorzystano nagrania gam chromatycznych dokonanych w polu bliskim. Skrzypce z bazy AMATI były strojone według $a' = 443\text{Hz}$.

Algorytm wyznaczania częstotliwości modu C4 jest następujący:

1. Oblicz DTFT dla nagrania gamy chromatycznej w pasmie od 650 do 796 Hz, z dokładnością 0.5 Hz, dla każdej struny oddzielnie.
2. Oblicz energię każdej próbki widma.
3. Znormalizuj uzyskane widma energetyczne gam chromatycznych według maksymalnej znalezionej energii. Normalizacja odbywa się dla każdej struny oddzielnie.
4. Utwórz tablicę mnożeń M , której elementy oblicza się według następującego wzoru:

$$M[k] = E_{g\text{norm}}[k] \cdot E_{d\text{norm}}[k] \cdot E_{a\text{norm}}[k] \cdot E_{e\text{norm}}[k],$$

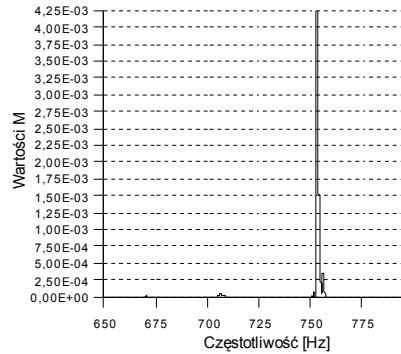
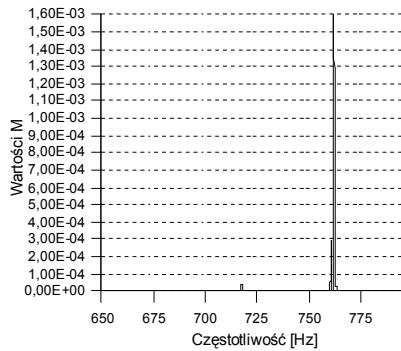
gdzie:

k jest indeksem próbki widma, $E_{g\text{norm}}[k]$, $E_{d\text{norm}}[k]$, $E_{a\text{norm}}[k]$, $E_{e\text{norm}}[k]$ są k -tymi próbkami znormalizowanych widm energetycznych, odpowiednio dla gamy chromatycznej zagranej na strunie g , d , a oraz e .

5. Częstotliwość, dla której $M[k]$ posiada największą wartość jest określana jako częstotliwość modu C4.

3. Wyniki obliczeń

W założonym pasmie tablica M posiada tylko jedno duże maksimum. Przykładowe wykresy przedstawiające wyniki obliczeń zostały umieszczone poniżej.



Rys.1. Wizualizacja tablicy M dla skrzypiec nr 10 Rys. 2. Wizualizacja tablicy M dla skrzypiec nr 85

Uzyskane powyższą metodą częstotliwości modu C4 dla skrzypiec z bazy AMATI są podobne do wyników badań podawanych w literaturze [1,2].

Literatura

- [1] Y. Andō, *Akustyka instrumentów muzycznych* (jap), Ongaku-no Tomosha, Tokio 2000.
- [2] E. Jansson, *Acoustics for violin and guitar makers*, The Royal Institute of Technology in Stockholm, 2002.
- [3] P. Wrzeciono, *Statystyczna i percepcyjna analiza dźwięku skrzypiec*, 52 Otwarte Seminarium z Akustyki, Wągrowiec 2005, 197-200.
- [4] P. Wrzeciono, *Matematyczna metoda opisu własności instrumentu muzycznego*, 53 Otwarte Seminarium z Akustyki, Kraków – Zakopane 2006, 205 – 210.
- [5] P. Wrzeciono, *A New Method of Searching for Violin Modes*, The IEEE Region 8 Eurocon 2007 Conference, Warszawa.
- [6] E. Łukasik, *Multimedialna baza dźwięków skrzypiec AMATI*, Multimedia i Sieciowe Systemy Informatyczne, MiSSI 2002, Wrocław.
- [7] E. Łukasik, P. Wrzeciono, *Cyfrowa rejestracja dźwięków instrumentów muzycznych do badania ich barwy*, Raport Instytutu Informatyki RB-03/2001, Politechnika Poznańska, Poznań 2001.
- [8] D.E. Hall, *Musical Acoustic – An Introduction*, Wadsworth Publishing Company, USA, 1989.
- [9] Ch.L. Phillips, J.M. Parr, *Signal, systems and transform*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.

A system for singing training

Paweł Żwan, Bożena Kostek

*Multimedia System Department, Gdańsk University of Technology
Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk*

1. Introduction

The system proposed is aimed at the vocal students and persons who want to improve emission of their voices. The goal is not to substitute a singing teacher but to provide a tool for automatic teaching of voice emission basics. In this way singers can develop their vocal skills or improve them. By a visual feedback a student can control and modify vocal tract maxima (resonances) of a chosen vowel to match the resonances of the qualified singers. The application analyzes a single vowel, because the frequencies and levels of resonances differ for different vowels. The application provides at the same time instructions how to modify the vocal tract to change presented parameters, those tips are prepared with the cooperation of a singing teacher and also based on the singing voice literature. To enable singers to train themselves an option to judge their progressing is envisaged.

2. General presentation

Automatic sound recognition systems are well developed in the domain of musical instrument retrieval (MIR) and allow for an automatic media content indexing. They use parameterization as a principle of operation, therefore development of those systems is related to the development of audio signal parameterization methods which are widely described in the literature [1][2]. The system presented focuses on the field of singing voice and takes into account singing voice parameters for an automatic singing voice training system [3][4][5]. Many scientists show correlation between selected singing voice parameters and subjectively judged technical voice quality. In the presented application called “singing trainer” chosen parameters are extracted in real time from the audio signal of a singer connected via microphone to a soundcard of a PC. Values of two parameters are continuously being presented on a PC screen in a 2D plot. In order to compare parameter values with the values from previous exercises they can be saved and loaded from a binary file. The visual feedback allows a singer to control these parameters by comparing their values to the values of the same parameters but extracted from professional singers’ recordings, loaded into the application from wave files. (Sample wave files containing various voice types and pitches are stored in a database (one of the application modules). Additionally an automatic pitch detection algorithm is implemented showing vibrato and intonation contour. This allows a singer to control the stability of pitch (intonation) and vibrato in real time. A general system lay-out is presented in Fig.1.

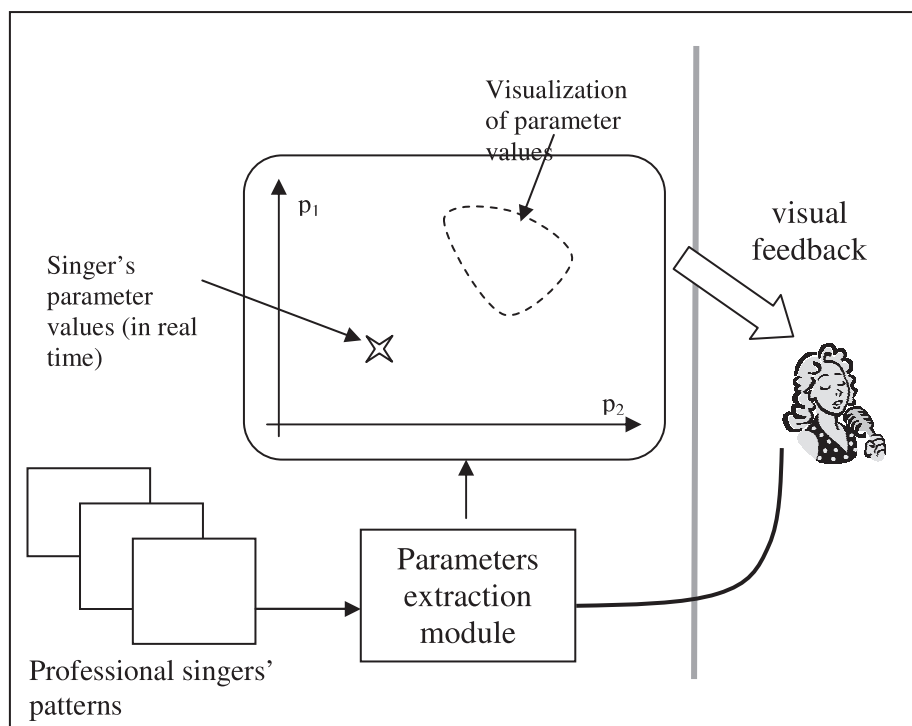


Figure 1 The system lay-out

3. Conclusion

The system engineered allows for visualization of parameters values, and also for assigning a singer's voice sample to one of the singing voice classes. The latter feature is obtained due to the implementation of the neural network trained on a huge number of singing samples gathered in a database. Parameter values from a microphone signal are calculated in real time and are compared to parameter values calculated for pattern files. Via a visual feedback a singer can observe and modify his/her vocal tract resonances in order to bring the parameters values the closest possible to the parameters values of a professional singer. The user is provided with suggestions, gathered from singing teachers and literature, so he/she can perform singing voice emission basic lessons using his/her own PC.

References

- [1] <http://www.ismir.net>
- [2] Kostek B., Czyzewski A., "Representing Musical Instrument Sounds for Their Automatic Classification", J. Audio Eng. Soc., 49, 9, 2001, pp. 768-785.
- [3] Żwan P., "Expert System for Automatic Classification and Quality Assessment of Singing Voices", AES Conv., San Francisco, 2006.
- [4] Sundberg J., "The science of the singing voice", Northern Illinois University Press, Dekalb, Illinois, 1987.
- [5] Zwan P., "The expert system for objectivization of singing voice judgements, Ph.D. Thesis, Gdańsk University of Technology, Multimedia Systems Dept., Gdańsk 2007.

AKUSTYKA POMIESZCZEŃ



ROOM ACOUSTICS

Dobór optymalnej wartości współczynnika pochłaniania oraz
 rozmieszczenia materiału na brzegach pomieszczenia zamkniętego

*Optimal value of an absorption coefficient selection and
 material distribution on the room's boundaries*

Andrzej Błazejewski, Tomasz Krzyżyński

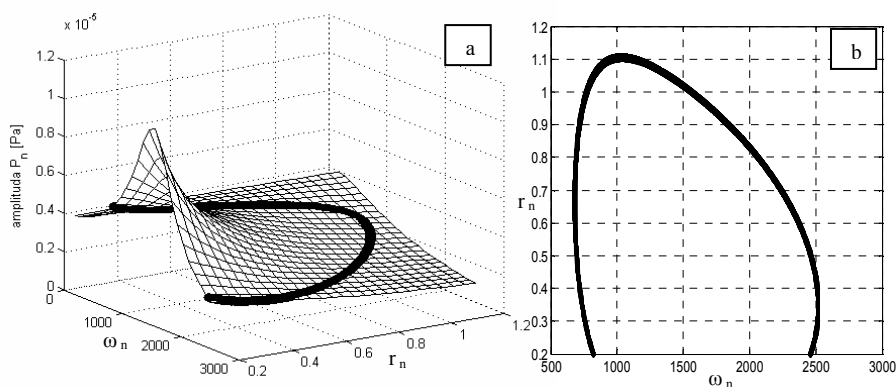
*Koszalin University of Technology, Department of Applied Mechanics and Mechatronics
 ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin*

E-mail: andrzej.blazejewski@tu.koszalin.pl, tkrzyz@tu.koszalin.pl

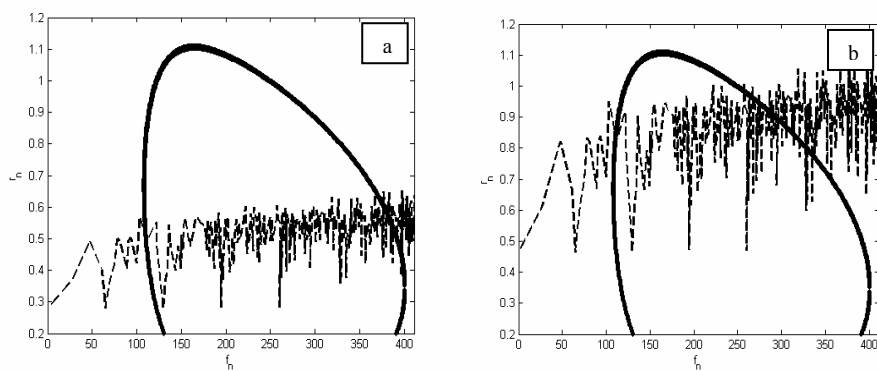
Praca przedstawia problem optymalizacji stosowania materiałów tłumiących dźwięk na powierzchniach wewnętrznych pomieszczenia zamkniętego. Rozpatrywano obiekt, porównywalny jest z niewielkimi izbami mieszkalnymi lub biurowymi o stałej wysokości, który charakteryzują: objętość $46,2\text{m}^3$ oraz powierzchnia ścian, sufitu i podłogi $86,4\text{m}^2$. Źródło, emitujące harmoniczną, monochromatyczną falę akustyczną umieszczono wewnątrz. Po zrównoważeniu przez źródło strat energii spowodowanych absorpcją na powierzchniach ograniczających, w pomieszczeniu ustala się pewien rozkład ciśnienia akustycznego. Rozkład ten można opisać przy założeniach analizy modalnej [1]. Dla wystarczająco dużej impedancji na brzegach, sprzężenie między kolejnymi modami własnymi może być pominięte [2,3]. Wtedy amplitudy przebiegów czasowych składowej ustalonej, dla każdej funkcji własnej, można opisać zależnością:

$$A_{ustal} = \frac{Q_n(\Omega_n^2 + r_n^2 - \omega^2 - 2jr_n\omega)}{(r_n^2 + (\omega + \Omega_n)^2)(r_n^2 + (\omega - \Omega_n)^2)}$$

gdzie: $\Omega_n = \sqrt{\omega_n^2 - r_n^2}$ jest częstotliwością własną drgań tłumionych, zależną od częstotliwości własnych pomieszczenia ω_n , r_n jest współczynnikiem tłumienia dla danej częstotliwości własnej, Q_n funkcją określającą rozmieszczenie przestrzenne źródła oraz amplitudę generowanej fali akustycznej. Analizując funkcję amplitudy w zależności od ω_n i r_n (rysunek 1.) można znaleźć pewne optymalne wartości współczynnika tłumienia r_n takie, dla których dalszy ich wzrost nie powoduje znaczącego spadku wartości amplitudy przebiegów czasowych. Dla badanego pomieszczenia poszukiwano materiału o takim współczynniku pochłaniania i tak rozmieszczonego wewnątrz, aby suma różnic obliczonych dla każdej częstotliwości własnej między współczynnikiem optymalnym, miała wartość minimalną. Na rysunku 2. przedstawiono rozkład współczynników dla dwóch rodzajów materiału rozmieszczonego na różnej powierzchni wewnętrznej. Rozważania ograniczono do zakresu częstotliwości granicznej wynikającej z gabarytów badanego pomieszczenia [4], oraz materiałów o współczynniku pochłaniania α_n dla prostopadłego padania fali 0,0142.



Rys. 1. (a) Wartości amplitud składowych czasowych ciśnienia (amplitudy dla wartości optymalnych r_n - linia ciągła) w zależności od współczynnika tłumienia r_n i częstotliwości własnych ($\omega_n = 2\pi f_n$), (b) wartości optymalne r_n



Rys. 2. Wartości współczynnika optymalnego r_n oraz współczynnika dla (a) materiału $\alpha_n=0,0085$ na powierzchni wewnętrznej $42,8 \text{ m}^2$ oraz (b) materiału $\alpha_n=0,0142$ na powierzchni wewnętrznej $34,9 \text{ m}^2$ w zależności od częstotliwości własnych f_n

Literatura

- [1] E.H. Dowell: *Reverberation time, absorption, and impedance*. J. Acoust. Soc. Amer. **64**, str.181, 1978.
- [2] M. Meissner: *Zastosowanie analizy modalnej do wyznaczania rozkładu pola akustycznego i czasu pogłosu w pomieszczeniu o złożonym kształcie*. 50 Otwarte Seminarium z Akustyki, str.110, Gliwice 2003.
- [3] P.L. Franzoni., D.B. Bliss: *A discursion of modal uncoupling and an approximate closed-form solution for weakly coupled systems with application to acoustic*. J Acoust. Soc. Amer. **103**, str.1923, 1998.
- [4] Z. Engel: *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2001.

Aktywne sterowanie dźwiękiem przy pomocy
cyfrowego korektora odwrotnego*Digital inverse equalizer assisted active sound control*

Wojciech Ciesielka

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: ghciesie@cyf-kr.edu.pl***1. Wprowadzenie**

Przez systemy aktywnego sterowania dźwiękiem ASD rozumiemy układy, w których sterowane źródło energii dźwięku jest zastosowane do modyfikacji istniejącego pola akustycznego.

W literaturze polskiej istnieje niewiele prac podejmujących ten temat. Na szczególną uwagę zasługuje praca E.Hojana [5], w której autor opisuje zasady nagłaśniania pomieszczeń i przestrzeni otwartej, praca Z.Engela i J.Kowala [2] prezentująca systemy i zasady sterowania procesami wibroakustycznymi oraz praca zbiorowa [4] pod redakcją A.Gołasia. Spośród wielu publikacji zagranicznych na pierwszy plan wysuwają się opracowania [3,6,7,8], w których autorzy podejmują temat aktywnego sterowania dźwiękiem przy wykorzystaniu teorii filtracji odwrotnej.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono modele matematyczne korektorów odwrotnych oraz zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych potwierdzających skuteczność ich działania.

2. Korektor odwrotny – modele matematyczne i badania eksperymentalne

Teoria filtracji odwrotnej (rozplatania) znana jest od wielu lat, jednak jej praktyczne zastosowanie możliwe stało się wraz z rozwojem cyfrowego przetwarzania sygnałów (DSP) przy powszechnej dostępności szybkich procesorów sygnałowych, umożliwiających operacje splatania i rozplatania sygnałów w czasie rzeczywistym.

Na bazie tej teorii zaprojektowany i zbudowany został cyfrowy korektor odwrotny **CKO**. Aby zaprojektować korektor odwrotny należy znaleźć transmitancję $H_{inv}(z)$ aby spełniona została zależność (1).

$$H(z) \cdot H_{inv}(z) = 1 \quad (1)$$

Na bazie karty dSPACE z procesorem sygnałowym TMS320C31 zbudowano cyfrowy korektor odwrotny i zastosowano go do korekcji charakterystyki głośnika niskotonowego firmy TONSIL GDN16/30.

Dzięki zastosowaniu korektora odwrotnego uzyskano kompensację charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej w przedziale częstotliwości od 16 Hz do 1600 Hz +/- 3dB przy prawie liniowej charakterystyce amplitudowo-fazowej – „małe zafalowania”. Tym samym znacząco poszerzono efektywny zakres pracy przetwornika.

Zaprojektowany i wykonany aparat może być wykorzystany w systemach aktywnej redukcji dźwięku lub w układach do usuwania echa w systemach elektroakustycznych lub komunikacyjnych.

W następnym etapie prac, wykorzystując kartę dźwiękową oraz oprogramowanie Matlab, Aurora i CoolEdit opracowano i wykonano cyfrowy korektor odwrotny, który zastosowano do kompensacji charakterystyki głośnika GDN16/30 i pola akustycznego w wybranym pomieszczeniu.

Dzięki zastosowaniu korektora odwrotnego uzyskano prawie idealną kompensację charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej w przedziale częstotliwości od 40 Hz do 20 kHz +/- 0.5 dB.

W wyniku zastosowania korektora odwrotnego uzyskano kompensację pola akustycznego w zakresie od 40 Hz do 10000 Hz. +/- 2.5 dB. Niewielkie fluktuacje charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej nie miały istotnego wpływu na liniową charakterystykę amplitudowo-fazową w korygowanym paśmie częstotliwości.

Zastosowanie korektora odwrotnego do korekcji pola akustycznego pozwoliło lokalnie zmodyfikować klimat akustyczny wybranego wnętrza.

Przez korekcję pola akustycznego, wykonaną dzięki zastosowaniu cyfrowego korektora odwrotnego, możemy w pomieszczeniu o „słabej akustyce” uzyskać bardzo dobrą jakość odbioru dźwięku. Jest to możliwe dzięki operacji splotu korekcyjnej odpowiedzi impulsowej z odpowiedzią korygowaną, a następnie dalszemu splotowi odpowiedzi wynikowej z odpowiedzią impulsową, np. filharmonii.

Zaprojektowane systemy dają bardzo dobre efekty korekcji w wybranym zakresie częstotliwości i mogą być stosowane do sterowania dźwiękiem w obszarach ograniczonych.

Literatura

- [1] W.Ciesielka. Wykorzystanie korektorów cyfrowych do syntezy dźwięku. Rozprawa doktorska. AGH, Kraków (2002).
- [2] Z.Engel, J.Kowal. Sterowanie procesami wibroakustycznymi. Kraków, Wydawnictwa AGH. (1995).
- [3] A.Farina, E.Ugolotti. Spatial equalization of sound systems in cars by digital inverse filtering. Proc. of 4th International Conference and Exhibition Comfort in the automotive industry, Bologna, Italy, 2-3 (October 1997).
- [4] A.Golaś A. i [wsp]. Podstawy sterowania dźwiękiem w pomieszczeniach. Kraków, Wydawnictwa AGH. (2000)
- [5] E.Hojan. *Zasady nagłaśniania pomieszczeń i przestrzeni otwartej*. Poznań, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytet Im. Adama Mickiewicza. (1988).
- [6] J.Mourjopoulos. *Digital equalization of room acoustics*. J.Audio Eng.Soc., Vol.42, No. 11, (1994 November).
- [7] S.J.Elliott, L.P.Bhatia, F.S.Deghan, A.H.Fu, M.S.Steward, D.W.Wilson. *Practical implementation of low-frequency equalization using adaptive digital filters*. J.Audio Eng.Soc., Vol.42, No.12, pp.988-998. (1994 December).
- [8] A.V.Oppenheim, R.W.Schafer. *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów*. WNT Warszawa. (1978).

Analiza niwykładniczego zaniku dźwięku w pomieszczeniu złożonym z dwóch połączonych ze sobą pomieszczeń prostopadłościennych

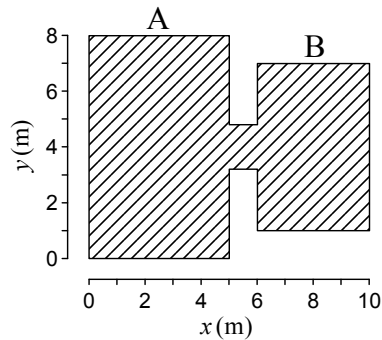
Analysis of non-exponential sound decay in an enclosure composed of two connected rectangular subrooms

Mirosław Meissner

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
E-mail: mmeissn@ippt.gov.pl*

1. Wprowadzenie

Badania warunków pogłosowych w pomieszczeniach sprzężonych akustycznie stanowiły przedmiot szeregu prac badawczych [1–3], ponieważ przykładami tego rodzaju obiektów są teatry, gdzie szereg łoż łączy się z salą główną, oraz kościoły, w których występuje wiele naw oraz kaplic. W artykule przedstawiono wyniki symulacji numerycznej

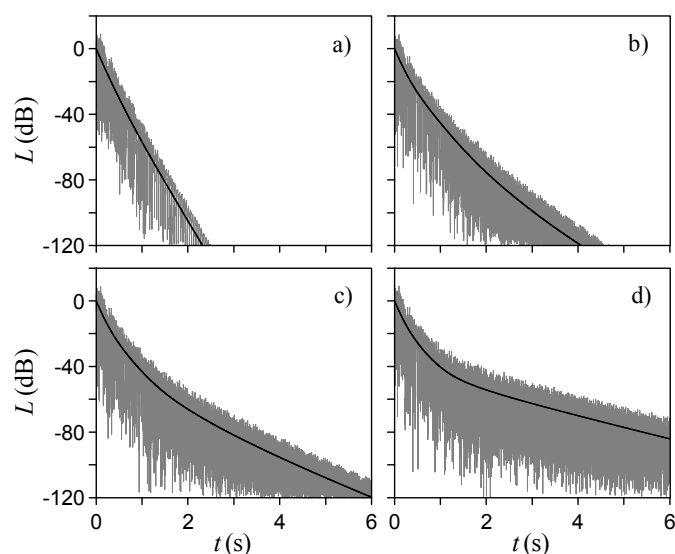


Rys. 1. Przekrój poziomy analizowanego pomieszczenia składającego się z dwóch połączonych ze sobą pomieszczeń prostopadłościennych A i B.

pogłosowego pola akustycznego w układzie dwóch połączonych ze sobą pomieszczeń prostopadłościennych (rys. 1) i przeanalizowano efekt niwykładniczego zaniku dźwięku występujący dla znacznych różnic pomiędzy wartościami pogłosowego współczynnika pochłaniania w pomieszczeniach składowych.

2. Wyniki obliczeń

Ilustracją zjawiska niwykładniczego zaniku dźwięku są wyniki obliczeń pokazane na rys. 2, gdzie liniami o kolorze szarym oznaczono zmiany poziomu ciśnienia, zaś liniami czarnymi krzywe zaniku wyznaczone metodą regresji. Jak widać, poziom dźwięku zmniejsza się liniowo (wykładniczy zanik dźwięku) przy takiej samej wartości współczynników pochłaniania α_a i α_b (rys. 2a), natomiast przy wzroście stosunku α_a/α_b zmiany poziomu dźwięku stają się nieliniowe (niwykładniczy zanik dźwięku).



Rys. 2. Poziom ciśnienia L (linie szare) oraz krzywe zaniku wyznaczone metodą regresji (linie czarne) dla różnych wartości pogłosowych współczynników pochłaniania w pomieszczeniach A i B: a) $\alpha_a = \alpha_b = 0.15$, b) $\alpha_a = 0.22$, $\alpha_b = 0.046$, c) $\alpha_a = 0.23$, $\alpha_b = 0.031$, d) $\alpha_a = 0.24$, $\alpha_b = 0.016$. Źródło dźwięku i punkt obserwacji położone w punktach (wymiary w metrach): (2,5,1) i (8,5,1.8). Częstotliwość dźwięku 52 Hz.

Charakterystyczną cechą krzywych pogłosowych dla dużych wartości α_a/α_b jest krótki czas pogłosu związany z wczesnym zanikiem (EDT) wyznaczanym ze spadku poziomu dźwięku od 0 dB do -10 dB oraz długi czas pogłosu związany z późnym zanikiem (LDT) określanym ze spadku poziomu dźwięku od -50 dB do -60 dB. Na podstawie krzywych pogłosowych wyznaczanych w każdym z punktów siatki różnicowej obliczono wartość średnią czasów EDT i LDT w pomieszczeniach A i B. Analiza wyników obliczeń wykazała, że dla dużych różnic pomiędzy wartościami współczynników pochłaniania α_a i α_b zasadniczy wpływ na wielkość czasów EDT i LDT w pomieszczeniach składowych mają czasy zaniku modów własnych zlokalizowanych w tych pomieszczeniach.

Literatura

- [1] J.S. Anderson, M. Bratos-Anderson. *Acoustic coupling effects in St Paul's Cathedral, London*. J. Sound Vib., **236**(2), 209–225 (2000).
- [2] D.T. Bradley, L.M. Wang. *The effects of simple coupled volume geometry on the objective and subjective results from nonexponential decay*. J. Acoust. Soc. Am., **118**(3), 1480–1490 (2005).
- [3] M. Meissner. *Computational studies of steady-state sound field and reverberant sound decay in a system of two coupled rooms* (to appear in Cent. Eur. J. Phys., **5**(3), 2007; available online).

Pole akustyczne w pomieszczeniu przemysłowym

Acoustic field in an industrial hall

Janusz Piechowicz

*Katedra Mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
 Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: piechowi@agh.edu.pl*

1. Wprowadzenie

Rozważania akustyki wewnątrz obejmują procesy przenoszenia energii akustycznej od źródła do odbiornika i w ten sposób wewnątrz staje się jednym z ogniw łańcucha transmisyjnego między źródłem pierwotnym dźwięku a odbiornikiem, źródłem wtórnym a odbiornikiem. Do opisu pola akustycznego w pomieszczeniach przemysłowych stosuje się metody falowe lub metody geometryczne. Pomieszczenie formuje charakterystykę amplitudową i fazową sygnału, wprowadzając ponadto efekty związane ze właściwym sobie charakterem przestrzennym, decydujące o obrazie dźwiękowym w punkcie obserwacji. W artykule przedstawiono analizę pola akustycznego w pomieszczeniu przemysłowym w warunkach pracy niewielkiej gabarytowo maszyny. Przedstawione są wyniki pomiarów i symulacji komputerowych związanych z rozkładem pola akustycznego.

2. Badania pola akustycznego w pomieszczeniu przemysłowym

Pole akustyczne, zarówno dla pola swobodnego jak i w pomieszczeniu, jest sumą ciśnień akustycznych pojedynczych źródeł dźwięku [2]:

$$p(x) = \sum_{i=1}^L G(x|x_i)(-j\omega\rho q_i) \quad (1)$$

gdzie q_i - wartość zespolona momentu i -tego źródła zlokalizowanego w punkcie x_i , $G(x|x_i)$ - jeśli źródło znajduje się w pomieszczeniu to wartość funkcji Greena z uwzględnieniem funkcji własnych pomieszczenia Ψ_n możemy zapisać jako

$$G(x|x_i) = \frac{\Psi_n(x)\Psi_n(x_i)}{V|k_n^2 - k^2|} \quad (2)$$

gdzie Ψ_n - n -ta funkcja własna pomieszczenia dla określonych warunków brzegowych, k_n - liczba falowa związana z n -tą częstotliwością własną, V - objętość pomieszczenia, m^3 . W przypadku wielu punktów obserwacji M i wielu źródeł cząstkowych L możemy równanie (1) zapisać z wykorzystaniem notacji macierzowej jako

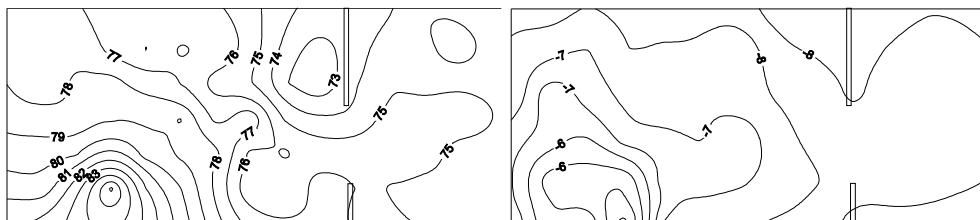
$$p = [p(x_1) \dots p(x_m) \dots p(x_M)]^T = Z^{(m)} q \quad (3)$$

W równaniu (3) $Z^{(m)}$ jest macierzą impedancji przejścia od momentu źródła q do określanych wartości ciśnienia akustycznego w punktach $(x_1, \dots, x_m, \dots, x_M)$ w przestrzeni pomieszczenia oraz q jest wartością zespoloną momentu źródła $q = [q_1, \dots, q_l, \dots, q_L]^T$. Rozbieżność między wartościami obliczeniowymi a wartościami mierzonymi definiujemy przez funkcję błędu $e(x) = p^{obl}(x) - p^{zm}(x)$. W przypadku poprawnego wyznaczenia parametrów akustycznych cząstkowych źródeł hałasu q wartość funkcji błędu $e(x)$ zmierza

do 0. Można wprowadzić dla M punktów obserwacji wektor błędu $e=[e_1, \dots, e_m, \dots, e_M]^T$. Zatem wektor błędu może być minimalizowany przez sterowanie wartościami momentu źródła q . Kryterium błędu J , może być przedstawione metodą najmniejszej sumy kwadratów $J=e^H e$ [1]. Można też zagadnienie to rozwiązywać z wykorzystaniem metody regularyzacji Tikchonova [2,4].

2. Badania doświadczalne w pomieszczeniu przemysłowym

Gdy źródło znajdujące się w pomieszczeniu promieniuje energię dźwiękową ze stałą mocą, straty energii pokrywane są przez źródło i po pewnym czasie ustala się stan równowagi, energia pochłaniana przez ściany jest równa energii dostarczanej przez źródło. W badaniach eksperymentalnych wykorzystano 12 mikrofonowy system wielokanałowej akwizycji danych. Mikrofony referencyjne umieszczone były bezpośrednio przy pracującej maszynie, a mikrofony pomiarowe były przemieszczane wzdłuż węzłów siatki pomiarowej 1m x 1m w pomieszczeniu warsztatu mechanicznego. Wartości zmierzone pozwoliły na wykreślenie rozkładu poziomów ciśnienia akustycznego w wybranych pasmach częstotliwości w stanie ustalonym (rys.1). Następnie skonstruowany został model geometryczny warsztatu mechanicznego i symulacyjnie określone zostały rozkłady poziomu dźwięku dla wybranych pasm częstotliwości. Kolejnym etapem było eksperymentalne wyznaczenie funkcji wpływu dla badanej hali dla źródła punkowego zlokalizowanego w miejscu zainstalowania testowanej maszyny (szlifierki).



Rys. 1. Rozkład poziomu dźwięku A w warsztacie mechanicznym: pomiar i wpływ pomieszczenia na rozkład izolinii.

Badania eksperymentalne wykonano w ramach prac statutowych Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH.

Literatura

- [1] Z.ENGEL, J.PIECHOWICZ, L.STRYCZNIWICZ, *Podstawy wibroakustyki przemysłowej*, Edited by AGH Kraków, 2003.
- [2] P-A. GAUTHIER, A.BERRY, *Sound-field reproduction in room using optimal control techniques: Simulation in the frequency domain*, JASA **117** (2), 2005 pp. 662-668.
- [3] J.PIECHOWICZ, *Determination of Acoustic Fields in Industrial Rooms*, Archives of Acoustics, vol.32, No 2 Warszawa 2007, pp.313-320.
- [4] J.PIECHOWICZ, *Regularisation problems at the determination of the acoustic power of sound sources*, Archives of Acoustics, Vol.31, No 4, Warszawa 2006, pp.287-294.

Analiza pola akustycznego w kościele oo. Dominikanów w Krakowie

Analysis of sound field in Dominicans' church in Cracow

Magdalena Plewa

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**E-mail: mplewa@student.agh.edu.pl***1. Wstęp**

Analiza pola akustycznego jest dobrą podstawą do projektowania adaptacji akustycznej pomieszczenia. Stosowanie symulacji pola akustycznego daje możliwość analizy zarówno wewnątrz już istniejących, jak i projektowanych. Pozwala na łatwe wprowadzanie zmian wymiarów architektonicznych oraz elementów akustycznych modelowanego pomieszczenia. Porównując wyniki pomiarów akustycznych z rezultatami symulacji, można wyciągać wnioski dotyczące poprawności modelu użytego w obliczeniach.

Metody geometryczne pozwalają na osiągnięcie dobrych wyników, dla pasma powyżej częstotliwości granicznej, obliczanej ze wzoru Schrödera

$$f_{gr} = 4000\sqrt{T/V} \quad (1)$$

Częstotliwość ta jest interpretowana jako granica, poniżej której w polu akustycznym dominują zjawiska falowe. Metoda promieniowa nie uwzględnia tych zjawisk, dlatego obliczenia dla niskich częstotliwości, uzyskane tą metodą, obarczone są błędem. Dla analizowanego wnętrza częstotliwość Schrödera wynosi w przybliżeniu $f_{gr} \approx 100\text{Hz}$. W pasmach oktaowych 125 – 8000 Hz przeprowadzono symulację metodą promieniową, jednak obliczenia dla 125 Hz są niedokładne. Aby dokonać symulacji pola akustycznego w pełnym zakresie częstotliwości słyszalnych, wyniki te będą uzupełnione dodatkowymi obliczeniami. Dla częstotliwości poniżej 200 Hz zostanie zastosowana metoda elementów skończonych. Obszarem wspólnym obu metod będzie pasmo 125 Hz.

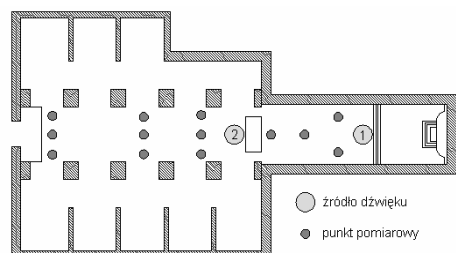
2. Pomiary

Rejestracji odpowiedzi impulsowej i czasu pogłosu dokonano metodą MLS, w pustym kościele. Przy pomiarach wykorzystano kartę dźwiękową Ego Sys U2A, głośnik Beyma GU50, wzmacniacz Rduch MW-4K oraz mikrofon Behringer ECM 800. Do generacji szumu, rejestracji i analizy wyników służył program Sample Champion 3.0. Wymuszeniem był sygnał MLS o długości 256000 próbek. Głośnik emitujący szum ustawiono w dwóch punktach. Mikrofon pomiarowy umieszczano w punktach jak na rysunku 1.

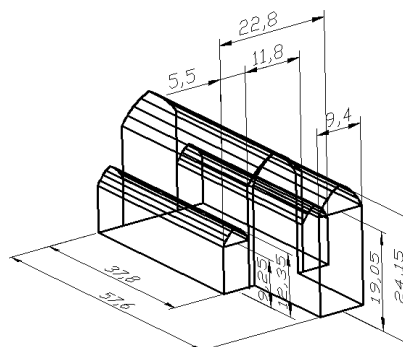
3. Metoda promieniowa

Symulację metodą promieniową przeprowadzono przy pomocy programu RAYNOISE 2.1. Geometryczny model kościoła został przygotowany z uwzględnieniem większej ilości szczegółów, niż przy MES. Wartości współczynników pochłaniania zostały

dotatkowo zmodyfikowane tak, aby uwzględniały rozpraszanie fal dźwiękowych na obiektach o skomplikowanych kształtach, a także „dostrojone” do wyników pomiarów w pasmach 1 i 2 kHz.



Rys. 1 Punkty pomiarowe



Rys. 2. Model geometryczny MES

4. Metoda elementów skończonych

Na potrzeby modelu wykorzystywanego w metodzie elementów skończonych (rys. 2), wnętrze kościoła zostało odwzorowane w sposób schematyczny, jako połączenie czterech objętości akustycznych: nawy głównej, naw bocznych oraz prezbiterium. Zachowano łukowy kształt sklepienia, natomiast pozostałe szczegóły architektoniczne wnętrza zostały pominięte z powodu małego wpływu na dokładność wyników. Model jest ciągle modyfikowany, ponieważ wyniki na obecnym etapie nie są zadowalające. Dlatego obliczenia będą przeprowadzone ponownie. Wtedy też możliwe będzie porównanie wyników z pomiarów oraz obu metod.

5. Porównanie wyników

W tabeli 1 zostały przedstawione czasy pogłosu uzyskane z pomiarów oraz obliczeń metodą promieniową. Rozbieżności wyników wynikają z niedokładności modelu użytego do symulacji w programie RAYNOISE. Wpływ na niedokładność mają również przyjęte w symulacji współczynniki pochłaniania, które zostały oszacowane na podstawie ich wartości dla podobnych materiałów. Zestawienie wszystkich wyników daje dobrą podstawę do projektowania adaptacji akustycznej, w tym instalacji elektroakustycznej.

Tabela 1 Zestawienie czasów pogłosu

Częstotliwość [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Czas pogłosu (MLS)	8.24	4.62	5.31	5.2	4.55	3.47	2.4
Czas pogłosu	9.62	4.83	5.01	4.89	4.31	3.2	2.03

Literatura

- [1] Z. Engel, *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN, Warszawa 2001
- [2] A. Gołaś, *Metody komputerowe w akustyce wnętrz i środowiska*, AGH, Kraków 1995
- [3] R. Olszewski, *Zastosowanie MES iMEB do analizy pola akustycznego*, AGH, Kraków 2005

AKUSTYKA STRUKTURALNA



STRUCTURAL ACOUSTICS

Wpływ rodzaju połączenia na sposób przenoszenia energii drganiowej

Influence of connection type on the way of vibrational energy transmission

Wojciech Bochniak, Jacek Cieślik

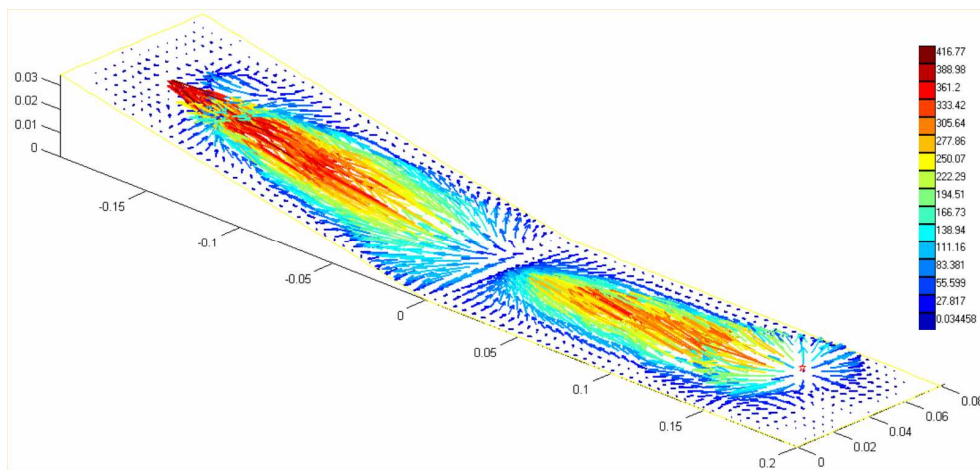
*Katedra Robotyki i Mechatroniki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: bochniak@agh.edu.pl, cieslik@agh.edu.pl***1. Wprowadzenie**

Praca przedstawia zastosowanie ilościowej metody bilansu energii drganiowej w układach mechanicznych w sposób pośredni z użyciem wielkości opisującej przepływ energii, jakim jest natężenie dźwięków strukturalnych. Wartości natężenia dźwięku wyznaczone były na drodze obliczeń numerycznych z zastosowaniem metody elementów skończonych. Przyjęcie jednakowej wielkości i kształtu elementów skończonych uprościło znacznie procedurę obliczeń. Umożliwiło wyznaczanie wartości energii drganiowej w układzie poprzez sumowanie wartości natężenia dźwięków strukturalnych w określonych przekrojach układu płyt w kierunku prostopadłym do obserwowanego kierunku przepływu energii, określonego na podstawie obserwacji wektorowego pola natężenia. Sumowanie przeprowadzono miejscach stałego regularnego przepływu energii drganiowej w kierunku określonym przez zwrot wektorów natężenia, poza strefą wymuszenia i tłumienia drgań. Otrzymane wyniki modelowania numerycznego dają ilościową informację o wielkości energii przenoszonej, odbitej i tłumionej w analizowanym połączeniu zależnie od wzajemnego kąta nachylenia płyt. Proponowana metoda oceny może być wykorzystana dla innego rodzaju połączeń.

2. Model połączenia

Zasadniczym celem badań było wyznaczenie wektorowego pola natężenia dźwięków strukturalnych w obszarze połączenia i zależności wartości przenoszonej energii drganiowej od kąta nachylenia płyt z połączeniem spawanym.

Dwie płyty prostokątne o jednakowych wymiarach połączone poprzez zespawanie na krótszym brzegu wybrano jako przykład połączenia. Ich wymiary były równe $0.2 \times 0.08 \times 0.001$ m. Założono, że płyty wykonane były ze stali konstrukcyjnej o następujących własnościach materiałowych: współczynnik Poissona $\nu = 0,3$ moduł Younga $E = 2,11 \cdot 10^{11}$ Pa, i gęstość $\rho = 7860$ kg/m³. Do płyty poziomej przyłożono prostopadłą siłę wymuszającą sinusoidalnie zmienną o amplitudzie 10N, a do płyty nachylonej siłę tłumienia proporcjonalną do wartości amplitudy prędkości drgań (Rys. 1.). Wszystkie krawędzie płyt z wyjątkiem krawędzi wspólnej były swobodnie podparte. Warunki brzegowe odpowiadają są najczęściej spotykanym warunkom brzegowym elementów płytowych stosowanych w budowie pojazdów.



Rys. 1. Rozkład wektorowego pola natężenia dźwięków strukturalnych na powierzchni dwóch płyt prostokątnych połączonych pod kątem 10° , dB.

4. Wnioski

Przykładowy wynik analizy sposobu przenoszenia energii drganiowej przedstawiono na Rys. 1. w formie rozkładu wektorowego pola natężenia dźwięków strukturalnych na powierzchni układu dwóch płyt prostokątnych.

Pole natężenia dźwięków strukturalnych dla danej struktury jednoznacznie i precyzyjnie obrazuje miejsca generowania, magazynowania i rozproszenia energii drganiowej. Dzięki możliwości zastosowania lokalnie siatki elementów skończonych o zwiększonej gęstości daje możliwość jakościowej oceny przepływu energii drganiowej w miejscach szczególnie istotnych ze względu na własności tłumienia drgań konstrukcji mechanicznych. Pozwala na precyzyjne określenie dróg przenoszenia energii np. poprzez wyznaczenie linii prądu. Jest to istotna zaleta metody natężeniowej w stosunku do innych metod identyfikacyjnych.

Ilościowa ocena przenoszenia energii drganiowej może być przeprowadzona poprzez zsumowanie wartości natężenia dźwięków strukturalnych w określonym przekroju, która to wartość jest proporcjonalna do wartości energii przepływającej przez ten przekrój struktury.

Praca była realizowana w ramach projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 4T12C00429.

Literatura

- [1] J.Cieślík. *Vibration energy flow in rectangular plates*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics. Vol. 42, (1) 2004, s. 195-212.
- [2] J. Cieślík, W. Bochniak. *Vibration energy flow in assembled structures*. In Proc. 13th ICSV, Vienna, 2006, CD, 6 p.
- [3] L. Gavric, G. Pavic. *A finite element method for computation of structural intensity by normal mode approach*. J. of Sound and Vibration, 164(1), 1993, pp. 29-43.
- [4] A. Le Bot. *Geometric diffusion of vibrational energy and comparison with the vibrational conductivity approach*, J. of Sound and Vibration, 212, 1998, pp. 637-647.

Modelowanie drgań skrętnych przekładni harmonicznej

Modeling of torsional vibration in harmonic drive

Ryszard Leniowski

*Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów
E-mail: lery@prz-rzeszow.pl*

Przekładnie harmoniczne odgrywają ważną rolę w robotyce, przemyśle precyzyjnym oraz w zastosowaniach medycznych (nowoczesne systemy pozycjonowania ciała ludzkiego aparatów skanujących). Przekładnie te posiadają unikalne cechy takie jak wysokie przełożenie, duży przenoszony moment, zwarta konstrukcja, brak luzu oraz wysoka sprawność. Jednak poprzez skrętną elastyczność, skomplikowane tarcie, oraz histerezę wprowadzają do układu złożoną dynamikę, która objawia się w postaci drgań skrętnych. W efekcie, aby osiągnąć wysokie parametry lekkich robotów nowej generacji, dynamika przekładni wraz z tarciami muszą być analizowane i uwzględniane na etapie projektowania urządzeń.

Praca omawia proces szczegółowego modelowania matematycznego przekładni harmonicznej w celu dokładnej analizy drgań. Proponowany model składa się z trzech komponentów: modelu histerezy, modelu tarcia oraz modelu odkształceń skrętnych. Badania doświadczalne potwierdzają, że przekładnie harmoniczne charakteryzują się niewielką, ale złożoną postacią funkcji histerezy. Dotyczy ona obszaru pracy w pobliżu zera nazywanego „lost motion”. Aby rozwiązać ten problem wykorzystano tzw. operator Preisach [1], który w wersji dyskretnej odpowiada modelowaniu histerezy za pomocą skończonego szeregu iloczynów funkcji przekąźnikowych pomnożonych przez wektor wag. Każdy przekąźnik ma indywidualnie strojone momenty przełączania. Operator Preisach umożliwia uzyskanie kształtu histerezy zgodnej z kształtem histerezy rzeczywistej (dane producenta).

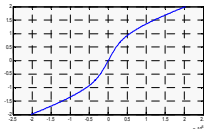
Z uwagi na złożony kontakt powierzchni zębatach jaki zachodzi w przekładni harmonicznej model tarcia nie może być opisywany za pomocą charakterystyk statycznych. Do badań wykorzystano modele dynamiczne smarowanych powierzchni w połączeniu z modelem zaproponowanym przez Bliman'a i Sorine'a [2]. Model ten umożliwia ustalenie rzędu równań dynamiki w celu uwzględnienia zjawisk wolno- i szybkozmiennych.

Trzeci, ostatni komponent modelu matematycznego przekładni harmonicznej opisuje dynamikę deformacji skrętnych elastycznego, uzębionego kubka, który jest głównym elementem tego urządzenia. Z uwagi na częściowy kontakt zębów kubka i zewnętrznego pierścienia (około 28% długości obwodu) oraz niestacjonarność procesu (miejsce kontaktu zmienia się w czasie) znany model deformacji powierzchni walcowej nie mógł być wykorzystany. Model zbudowano stosując metodę FEM. Powierzchnię walcową kubka zastąpiono siatką o 16 kierunkowym modelu sąsiedztwa i łączniku składającym się z równoległe połączonej sprężyny i tłumika (model Kelvina-Voigta). Wprowadzenie 16 elementowego modelu sąsiedztwa pozwala w sposób bardzo precyzyjny definiować zjawiska deformacji skręcających, ścinających oraz rozciągania i ściskania powłoki (1).

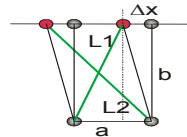
$$\ddot{q}_{ij}(k) = m_{ij}^{-1} (F_{ij}(k) - K \sum_{m=1}^{16} (L_m - L_{0m}) \hat{\mathbf{L}} - \mu \sum_{m=1}^{16} \hat{\mathbf{L}} \hat{\mathbf{L}}^T \hat{\mathbf{L}}) \quad (1)$$

Wielkości we wzorze (1) oznaczają odpowiednio: \ddot{q}_{ij} - przyspieszenie węzła siatki, m_{ij} - masa węzła, F_{ij} - siły zewnętrzne oddziaływujące na węzeł, $K \sum_{m=1}^{16} (L_m - L_{0m}) \hat{\mathbf{L}}$ - siły sprężystości pochodzące od węzłów sąsiednich, $\mu \sum_{m=1}^{16} \hat{\mathbf{L}} \hat{\mathbf{L}}^T \hat{\mathbf{L}}$ - siły tarcia wewnętrznego. $\hat{\mathbf{L}}$ jest wektorem składowych długości łączników w układzie 3D. Model (1) może uwzględniać niejednorodność materiału w zakresie masy i współczynników sztywności oraz wprowadzać pola sił zewnętrznych w dowolny fragment siatki.

Ta własność jest wykorzystywana do modelowania kontaktu: elastyczny kubek-pierścień zewnętrzny. Istotą proponowanego modelu jest to, że jest to model nieliniowy o charakterystyce zgodnej z doświadczalną (rys.1), udostępnianą przez producentów przekładni harmoniczych.



Rys.1. Zależność odkształcenia od momentu.



Rys.2. Interpretacja deformacji siatki.

Nieliniowość jest wynikiem zmian geometrii łączników (rys.2), które w zależności od kierunku ruchu przechodzą dwukrotnie przez fazę rozciągania i ściskania.

Wyprowadzone modele matematyczne wykorzystano do opracowania oprogramowania symulacyjnego (dwie wersje: dla środowiska *Matlab* oraz *C++*). Model przekładni tworzą trzy komponenty odpowiadające za histerezę, tarcie oraz deformację. Komponent tarcia włączony jest do modelu dwukrotnie, co odpowiada kontaktom powierzchni: generator fali-kubek oraz kubek-pierścień zewnętrzny (rys.3).



Rys.3. Model przekładni harmoniczej.

Przeprowadzone testy potwierdzają użyteczność i wystarczającą dokładność opracowanego modelu. Wibracje rezonansowe wprowadzane przez wirtualną przekładnię harmoniczną odpowiadają zjawiskom obserwowanym w badaniach laboratoryjnych. Model ten jest wykorzystywany do projektowania układów regulacji lekkich robotów, które bazują na algorytmach sterowania należących do grupy MRAC. Są to algorytmy z wbudowanym modelem odniesienia oraz mechanizmami adaptacji i predykcji, umożliwiającymi skuteczne tłumienie drgań.

Praca dofinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach realizacji grantu N514 013 31/3317.

Literatura

- [1] X. Tan, J. Baras, P.S. Krishnaprasad: *Control of hysteresis in smart actuators with application to micro-positioning*, Systems & Control Letters, No. 54, 2005, pp. 483-492.
- [2] C. Canudas de Wit, H. Olsson, K. J.Astrom, P. Lischinsky: *Adaptive friction compensation with partially known dynamic friction model*, Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing, No. 11, 1997.

Zastosowanie sondy natężeniowej Microflown w pomiarach izolacyjności akustycznej

Application a sound intensity probe Microflown in the acoustic insulation measurements

Krzysztof Mech

*Politechnika Szczecińska, Wydział Techniki Morskiej, Zakład Wibroakustyki Stosowanej
ul. Piastów 41, 71-065 Szczecin, E-mail: k.mech@ps.pl*

1. Wprowadzenie

Nadmierny hałas przedostający się do pomieszczeń wpływa destrukcyjnie na życie i pracę człowieka. Jednym ze sposobów zmniejszenia jego szkodliwego wpływu jest stosowanie przegród o odpowiednio wysokiej izolacyjności akustycznej. W tym celu stosuje się oprócz masywnych przegród, wielowarstwowe przegrody lekkie. W referacie zostaną pokazane wyniki badań izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych wyznaczone w warunkach rzeczywistych (właściwej przybliżonej) ścian dwoma metodami: klasyczną KL (metodą ciśnieniową) i metodą natężeniową SI (energetyczną). Metoda natężeniowa w odróżnieniu od klasycznej polega na wyznaczeniu po stronie odbiorczej przegrody składowej normalnej poziomu natężenia dźwięku. W referacie przedstawiono i porównano wyniki pomiarów izolacyjności sondami typ p-v firm Norsonic, Microflown, i typu p-p firmy GRAS.

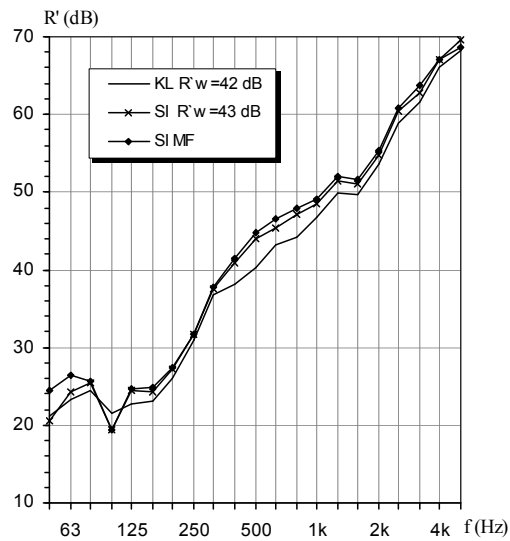
Izolacyjność zdefiniowana jest jako dziesięć logarytmów dziesiętnych ze stosunku mocy akustycznej padającej na przegrodę N_1 do mocy akustycznej przenikającej bezpośrednio przez przegrodę N_2 , oraz mocy akustycznej wypromieniowanej do pomieszczenia odbiorczego przez elementy boczne lub inne elementy składowe N_3 .

$$R' = 10 \lg \frac{N_1}{N_2 + N_3} \quad (1)$$

Mimo, że definicja izolacyjności akustycznej (1) odnosi się do mocy akustycznej, czyli do opisu energetycznego izolacyjności, to w klasycznej metodzie eksperymentalnej dotyczącej oceny izolacyjności bazuje się na pomiarze ciśnienia akustycznego. Podejście takie jest prawdziwe dla określonych warunków pola akustycznego np. w przypadku pola dyfuzyjnego.

2. Badania izolacyjności rzeczywistej z użyciem sondy Microflown

W referacie przedstawiono możliwość zastosowania w badaniach izolacyjności metodą natężeniową koncepcyjnie nowej sondy Microflown. Poprzez zestawienie mikrofonu pojemnościowego i przetwornika prędkości cząstki akustycznej, mierząc jednocześnie ciśnienie i prędkość cząstki uzyskano możliwość pomiaru natężenia dźwięku. W sondzie Microflown sensorem prędkości jest tzw. *mikroprzepływomierz falowy*, w którym wykorzystuje się dwa równolegle ułożone druty podgrzewane do temperatury ok. 300°C. Gradient temperatury wywołany przepływem cząstki akustycznej, jaki wystąpi na drutach stanowi podstawę do wyznaczenia prędkości akustycznej [1].



Rys. 1 Porównanie charakterystyk izolacyjności wyznaczanych z pomiaru poziomu ciśnienia KL, oraz wykorzystujące pomiar natężenia dźwięku SI i SI MF

Wyniki badań przedstawione na rys. 1 pokazują prawie identyczne charakterystyki izolacyjności wykonane metodą natężeniową SI dwoma różnymi sondami (SI –Norsonic, SI MF -Microflown). Pomiary natężenia, mocy akustycznej sondą Microflown w porównaniu ze standardowymi sondami dają takie same wyniki. Zaletą tej sondy jest możliwość pomiaru w szerokim paśmie częstotliwości i zakresie dynamicznym, ma niskie szumy własne. Zasadniczą zaletą sondy ze względu na jej miniaturowe wymiary jest pomiar ciśnienia i prędkości czyli natężenia we właściwie jednym punkcie pola akustycznego. Z badań przedstawionych w referacie wynika, że sondę Microflown można z powodzeniem stosować w badaniach akustycznych szczególnie w akustycznym polu bliskim.

Natomiast występują różnice pomiędzy charakterystykami izolacyjności wyznaczone metodami KL i SI. Zagadnienie różnic w wynikach izolacyjności, współczynnika efektywności promieniowania pomiędzy metodami KL i SI występują również w badaniach innych przegród [2].

Literatura

- [1] H. E. de Bree *The Microflown 2005*. MicroflownTechnologies B.V. Zevenaar, www.microflown.com.
- [2] K. Mech. *Eksperymentalna ocena własności wibroakustycznych elementów wyposażenia wewnątrz okrętowych metodami energetycznymi*. Praca doktorska, Politechnika Szczecińska, 2006

HAŁAS, JEGO SKUTKI
I ZWALCZANIE



NOISE, ITS EFFECTS AND CONTROL

Wybrane problemy estymacji stochastycznych zagrożeń
akustycznych środowiska*Analysis of stochastic acoustical hazards in environment*Wojciech Batko^{*}, Renata Bal-Pyrz^{**}^{*}Akademia Górniczo–Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: batko@agh.edu.pl^{**}Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Rynek 1, 38-400 Krosno

Ocena akustyczna środowiska, realizowana na podstawie obserwacji zmian dokonywanych w ramach państwowego monitoringu środowiska; dla potrzeb prowadzenia długookresowej polityki ochrony środowiska przed hałasem; wymaga oszacowań długookresowych średnich poziomów dźwięku L_{DWN} i L_N . Są one wykonywane na bazie wyników pomiarów hałasu na przestrzeni wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory: dnia, wieczoru i nocy. Podstawą poprawnego wnioskowania statystycznego w sytuacji niepełnych danych (ograniczonego czasowo monitoringu akustycznego środowiska) jest taki dobór próby pomiarowej, aby uzyskane w niej rezultaty dobrze odwzorowywały mechanizm zmian zagrożeń hałasowych jaki ma miejsce na przestrzeni roku. Winien on zapewniać poprawność identyfikacji częstość zachodzenia określonych zdarzeń i ich czasowych powiązań, np. pojawień się wartości ekstremalnych poziomów dźwięku, czy rozpoznania okresowej zmienności istotnych parametrów w ocenach niepewności monitorowanych zagrożeń. Proces ten wymaga przyjęcie określonych statystycznych technik związanych z przyjętym sposobem modelowania kontrolowanych zmienności poziomów dźwięku, w których losowy czynnik jest istotny i zawsze obecny. Problem ten jest treścią artykułu. Przedstawiono w nim podstawowe analizy monitorowanego zjawiska, przy zastosowaniu modeli ujmujących ich stochastyczną zmienność. Opisano istotne z punktu widzenia uzyskiwanej informacji elementy modelowania, zilustrowane przykładami analiz na danych pochodzących z całorocznego monitoringu wokół jednej z głównych arterii miasta Krakowa. Zwrócono uwagę na problemy analiz występowania cykliczności procesu, niepewności pomiarowej związanej z zmiennością warunków pomiarowych, czy jednorodności czasowej monitorowanych procesów hałasowych ze względu na zachodzące w niej relacje przyczynowo-skutkowe.

Literatura

- [1] Anis A.A., Lloyd E.H. (1976): The expected value of the adjusted rescaled Hurst range of independent normal summands, *Biometrika*, 63, s.283-298.
- [2] Batko W., R. Bal-Pyrz R. (2007): Analiza zmienności poziomu hałasu drogowego Materiały XXXV Zimowej Szkoły Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice – Ustroń 26.02 – 2.03. 2007.
- [3] Batko W. (2006): Modelowanie akustycznych zagrożeń środowiska dla potrzeb diagnostyki jego stanu. Materiały XXXIII Sympozjum Diagnostyka Maszyn. CD Węgierska Górka 2006.

- [4] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise.
- [5] Kufel T. (2004): Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystywaniem programu Gretl, PWN, Warszawa.
- [6] Morzyk M. (2006): Analiza struktury monitorowanego hałasu dla potrzeb estymacji długookresowych wskaźników hałasu. Praca magisterska wykonana na WIMiR AGH pod kierunkiem W.Batko.
- [7] Pawłowski Z. (1965): Wstęp do statystyki matematycznej PWN, Warszawa.
- [8] Talaga L., Zieliński Z. (1986): Analiza spektralna w modelowaniu ekonometrycznym, PWN, Warszawa.
- [9] Steczkowski J., Zeliś A. (1982): Analiza wariacyjna i kowariancyjna w badaniach ekonomicznych, PWN, Warszawa 1982.
- [10] Zieliński Z. (1979): Metody analizy dynamiki i rytmiczności zjawisk gospodarczych, PWN, Warszawa.

Integralny system sterowania i kontroli urządzeń pomiarowych wartości akustycznych i pozaakustycznych

Integrated control system for acoustic and non-acoustic data measurement devices

Wojciech Batko^{*}, Bartłomiej Borkowski^{*}, Krzysztof Głocki^{*}
Mirosław Dzierko^{**}, Dariusz Kapustka^{**}, Marek Stoliński^{***}

^{*}*Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

^{**}*Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Plac Szczepański 5, 31-011 Kraków*

^{***}*Artman Electronic, Zabłocie 39, 30-701 Kraków*

*E-mail: batko@agh.edu.pl, bborkow@agh.edu.pl, glocki@agh.edu.pl
mirek@krakow.pios.gov.pl, dduzy@wp.pl, poczta@artman.krakow.pl*

Hałas komunikacyjny jest obecnie najbardziej dominującym zagrożeniem akustycznym w obrębie miast i dróg. Wywiera on negatywny wpływ na zdrowie, warunki pracy i wypoczynku, jest, zatem jednym z najważniejszych czynników decydującym o komforcie życia. Ciągły przyrost ruchu samochodowego, kolejowego i samolotowego w obrębie miast, powoduje narastanie problemów związanych hałasem, dlatego prowadzone są prace regulowane obowiązującymi przepisami (dyrektywa Unii Europejskiej 2002/49/WE, Ustawa "Prawo ochrony środowiska") mające na celu redukcje zagrożeń wibroakustycznych. Powstają projekty jak na przykład cyfrowe mapy akustyczne, które mają za zadanie wspomagać planowanie przestrzenne pod kątem ochrony mieszkańców miast przed hałasem. Na jakość takich map ma wpływ dokładność i ilość zgromadzonych informacji oraz na przykład możliwość identyfikacji źródeł hałasu. W warunkach niestacjonarnych, jakim jest ruch komunikacyjny koniecznym jest przeprowadzanie pomiarów długo terminowych, co pociąga za sobą konieczność zaangażowania zespołów pomiarowych wyposażonych w odpowiednią aparaturę pomiarową, a co za tym idzie zwiększenia nakładów związanych z włożoną pracą i zapewnieniem sprzętu pomiarowego. W treści artykułu autorzy pragną przedstawić koncepcje systemu monitorowania hałasu oraz warunków środowiskowych, którego podstawowym zadaniem jest gromadzenie danych akustycznych i pozaakustycznych takich jak audio, video, natężenie ruchu oraz warunki pogodowe, z możliwie minimalnym udziałem czynnika ludzkiego w procesie pomiaru.

Literatura

- [1] Published standard ISO 1996-1:2003 Ed. 2 Current stage 60.60 TC 43/SC 1 Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- [2] Published standard ISO 1996-2:1987 Ed. 1 Current stage 90.92 TC 43/SC 1 Acoustics – Description and measurement of environmental noise -- Part 2: Acquisition of data pertinent to land use
- [3] Published standard ISO 1996-3:1987 Ed. 1 Current stage 90.92 TC 43/SC 1 Acoustics – Description and measurement of environmental noise -- Part 3: Application to noise limits

- [4] The legal act: “The law for environment protection” 20 june 2001
- [5] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise Official Journal of the European Communities – 18-07-2002

Koncepcja układu wykonawczego dla pozycjonowania elementów systemu pomiarowego w komorze bezdechowej

A concept of an actuator for positioning of elements of a measurement system in an anechoic chamber

Wojciech Batko^{*}, Józef Felis^{*}, Artur Flach^{*}
Tomasz Giesko^{**}, Tadeusz Kamisiński^{*}, Andrzej Zbrowski^{**}

^{*}AGH University of Science and Technology, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

^{**}Institute for Sustainable Technologies, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom

E-mail: kamisins@agh.edu.pl

1. Wprowadzenie

Automatyzacja akustycznych procesów pomiarowych w komorze bezdechowej, stanowi istotne wyzwanie dla konstruktora. Specyfika pomiarów wymaga bowiem zastosowania rozwiązań minimalizujących zakłócenia pola akustycznego, natomiast automatyzacja wiąże się zawsze z wprowadzeniem dodatkowych elementów mechanicznych, które zakłócają pole swobodne komory bezdechowej. Autorzy artykułu podjęli się zadania pogodzenia tych sprzeczności przy projektowaniu mechatronicznego systemu pomiarowego dla komory bezdechowej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie. Na podstawie znanych rozwiązań oraz współczesnych potrzeb pomiarowych, zaproponowano szereg koncepcji ze wskazaniem wariantu możliwego do realizacji w rozpatrywanym obiekcie.

2. Opis obiektu i założenia modernizacyjne

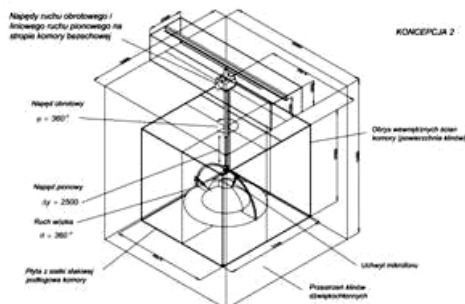
Opisywaną komorę bezdechową stanowi żelbetowa powłoka sześcienna posadowiona na wibroizolatorach sprężynowych. Wszystkie powierzchnie wewnętrzne komory pokrywają ustroje dźwiękochłonne w postaci klinów o długości 1,2 m. Podłoga robocza wykonana jest w postaci siatki z lin stalowych rozpiętych na wysokości 0,3 m nad wierzchołkami klinów. Na stropie komory znajduje się pomieszczenie, w którym zlokalizowano dźwig i urządzenia wentylacyjne. Zasadnicze wymiary [m] zewnętrzne komory to: 10,2(h) x 10,2 x 9,7; wewnętrzne użytkowe: 6,8(h) x 7,2 x 6,8; objętość: 821,5 [m³]. Masa całkowita wynosi ok. 600 ton, a częstość własna przy zastosowanej wibroizolacji (rys. 2) wynosi ok. 5 Hz.

Główne zadania stawiane przed konstruowanym manipulatorem to zwiększenie dokładności, uniwersalności oraz ułatwienie prowadzenia badań o charakterze naukowo-badawczym, dydaktycznym oraz objętym procedurami określonymi w normatywach.

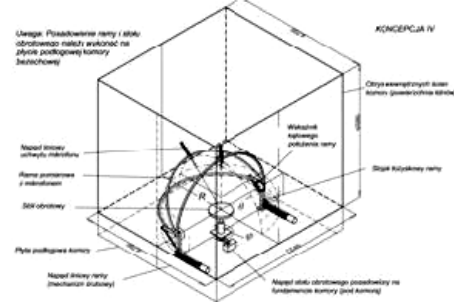
Można uznać, że większość wymogów geometrycznych możliwych do automatyzacji badań, jest reprezentatywne przez procedury dotyczące określenia poziomu mocy akustycznej źródeł dźwięku lub identyfikację charakterystyk kierunkowych układu źródło-obiekt-mikrofon. Procedury te wymagają pozycjonowania mikrofonu, głównie na powierzchni półsfery, co stało się punktem wyjścia do opracowania koncepcji ruchowej manipulatora.

3. Opracowanie koncepcyjne manipulatora pomiarowego

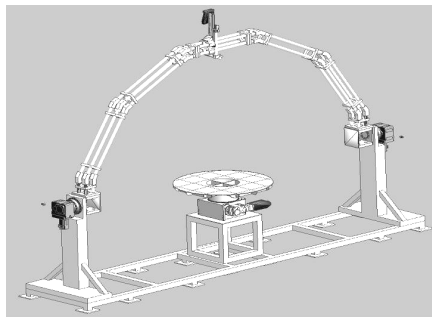
Rozważano trzy koncepcje zabudowy napędów manipulatora: nad stropem komory, pod płytą podłogową oraz wewnątrz komory. Koncepcje zabudowy pierwszą i drugą uznano za zbyt trudne w realizacji. Pierwszą z powodu wydłużenia dróg transmisji energii napędowej od silników manipulatora do członów wykonawczych. Koncepcja ta nie wymaga ingerencji w żelbetową konstrukcję komory ponieważ można wykorzystać istniejące otwory technologiczne. Drugą z powodu konieczności wykonania odpowiednich otworów w żelbetowej płycie podłogowej co wymagało ingerencji w jej konstrukcję. Ponadto, płyta podłogowa jest podparta w centralnej części co komplikowało centralne umieszczenie osi jakiegokolwiek napędu. Koncepcja zabudowy napędów manipulatora wewnątrz komory okazała się najlepszą od strony konstrukcyjnej. Na rys. 1 i 2 pokazano wybrane warianty koncepcji manipulatora, natomiast rys. 3 przedstawia wariant przyjęty do realizacji.



Rys. 1. Koncepcja manipulatora z napędem umieszczonym nad komorą



Rys. 2. Koncepcja manipulatora z napędem umieszczonym pod komorą



Rys. 3. Koncepcja manipulatora wybrana do realizacji

Literatura

- [1] Batko W., Dąbrowski Z., Engel Z., Kiciński J., Weyna S.: Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych. Instytut Technologii Eksploatacji- Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, 2005;
- [2] T.J. Cox and P. D'Antonio, Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application, Spon Press 2004. ISBN 0-415-29649-8
- [3] 10. Felis J., Jaworowski H., Cieślak J.: Teoria Mechanizmów i Maszyn. Część 1. Analiza, Wyd. KMRiDM AGH, Kraków, 2001
- [4] T. Kamiński, A. Flach,: A UNIPLANAR MANIPULATOR FOR PRECISION ACOUSTIC STUDIES. Archives of Acoustics. 2006 vol. 31 no. 4 suppl. s. 235–238

Ocena aktywnej redukcji drgań płyty poprzez parametr pola akustycznego

Evaluation of the active plate vibration reduction via the parameter of the acoustic field

Adam Brański*, Stanisław Szela**

*Politechnika Rzeszowska, WEiI, Pracownia Akustyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów
 e-mail: abranski@prz.rzeszow.pl

**Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Instytut Techniki
 Al. Rejtana 16c, 35-959 Rzeszów, e-mail: szela@univ.rzeszow.pl

1. Wstęp, idea rozwiązania zagadnienia

W pracy analizowano efektywność aktywnej redukcji drgań płyty poprzez analizę pola akustycznego. Aktywną redukcję drgań (R) przeprowadzono za pomocą aktuatorów [1]. Rozpatrzono redukcję dla dwóch położań aktuatorów [2]; 1 – aktuatory są położone quasi-optimalnie (Q-położenie), 2 – aktuatory są przesunięte względem Q (S-położenie). Efekt redukcji drgań mierzono poprzez wskaźnik redukcji amplitudy $\alpha_R = (A - A_R)/A \cdot 100\%$ gdzie A , A_R – amplituda drgań bez redukcji i z redukcją oraz poprzez redukcję momentów gnących i sił tnących w utwierdzeniu.

W niniejszej pracy proponuje się pomiar efektu redukcji drgań pośrednio za pomocą parametru pola akustycznego, którym jest ciśnienie akustyczne. W tym celu porównano dwa pola. Pierwsze z nich emituje płyta bez redukcji drgań p , drugie – z redukcją drgań p_R . Efekt redukcji analizowano w polu dalekim (strefa Fraunhofera) i w polu bliskim [3]. W strefie Fraunhofera przyjęto miarę globalną podaną wzorem $d_R = 1/n_i \sum_i d_{R,i} = 1/n_i \sum_i (p_i - p_{R,i})$. Natomiast w polu bliskim miarami są d_R oraz miara lokalna $d_{R,i}$, gdzie i – liczba punktów obliczeniowych, R – Q lub S. Miary te zdefiniowano na potrzeby rozważanego zagadnienia.

2. Wyniki obliczeń numerycznych, wnioski

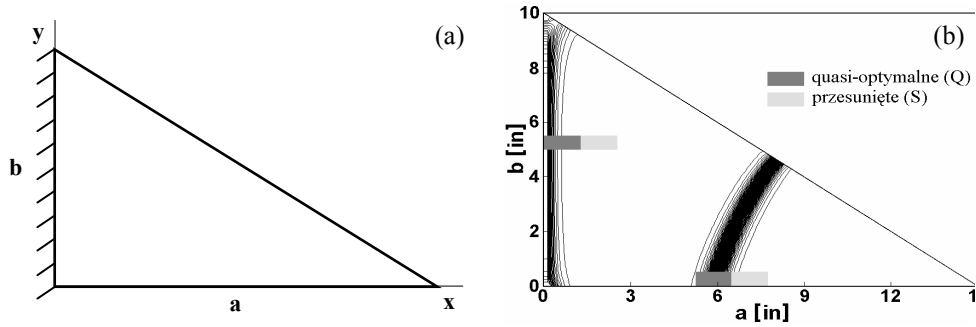
Jako obiekt badań wybrano cieką aluminiową płytę trójkątną z warunkami brzegowymi C-F-F o wymiarach $a = 0.381$ m, $b = 0.254$ m, Rys. 1(a), [2]. Drgania wzbudzano falą akustyczną z drugą częstotliwością drgań własnych płyty. Piezoceramiczne aktuatory rozmieszczono jak na Rys. 1(b). Wskaźnik redukcji amplitudy $\alpha_R = \alpha_Q$ przedstawiono na Rys. 2(a). W strefie Fraunhofera $d_Q = 1.8190 \times 10^{-7}$, $d_S = 1.5773 \times 10^{-7}$. W polu bliskim, w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny π_{xy} w odległości 0.01 m, $d_Q = 1.9332 \times 10^{-6}$, $d_S = 1.6654 \times 10^{-6}$, natomiast $d_{Q,i}$ przedstawiono na Rys. 2(b).

Z obliczeń numerycznych, nie tylko tych przedstawionych w pracy, wynikają następujące wnioski:

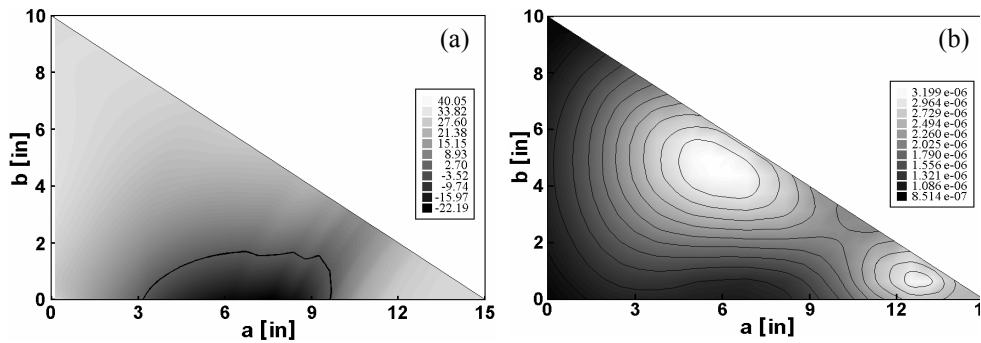
1. Wielkość aktywnej redukcji drgań można ocenić pośrednio poprzez zdefiniowane miary pól akustycznych wytwarzanych przez płytę przed i po redukcji drgań. Obie miary

potwierdzają większą redukcję drgań dla przypadku Q; por. [2].

2. Przyjęte miary oceniają jakościowo wielkość redukcji; $d_{R,i}$ wskazuje ponadto obszary redukcji i wzmocnienia drgań pod warunkiem, że amplituda drgań jest dostatecznie duża.
 3. Przyjęte miary można łatwo otrzymać na podstawie pomiaru, stąd parametry pola akustycznego są wygodną pośrednią miarą aktywnej redukcji drgań.
- Powyższe wnioski są słuszne również dla innych rodzajów struktur powierzchniowych.



Rys. 1. (a) Płyta trójkątna z warunkami C-F-F, (b) rozmieszczenie aktuatorów.



Rys. 2. (a) Wskaźnik redukcji amplitudy α_Q dla przypadku Q, (b) $d_{Q_i} = p_i - p_{Q_i}$.

Literatura

- [1] M. Pietrzakowski. *Active damping of transverse vibration using distributed piezoelectric elements*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa (2004).
- [2] A. Brański, S. Szela. *The quasi-optimal distribution of PZTs in active reduction of triangular plate vibration*. Proceedings 8th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods, pp. 60-61, (2007).
- [3] A. Brański. *Model akustyczny płyty*. Wydawnictwo WSP, Rzeszów (1991).

Rozkład pola akustycznego w obrębie PKE Elektrownia Siersza w Trzebinii

Acoustic field layout in the area of PKE Siersza Electric Plant in Trzebinia

Krzysztof Głocki

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: glocki@agh.edu.pl*

Artykuł przedstawia wyniki symulacji rozkładu pola akustycznego w obrębie elektrowni Siersza w Trzebinii. Badania miały na celu wskazanie kierunku prac, prowadzonych w celu ograniczenia emisji hałasu do środowiska wokół elektrowni. Głównymi źródłami emisji były chłodnie kominowe. Badania prowadzone były w celu uzyskania optymalnego układu pracy chłodni a także pod kątem przydatności proponowanych rozwiązań technicznych mających na celu wyciszenie źródeł hałasu. Prowadzone symulacje dały odpowiedź jaki optymalny system pracy powinien być stosowany a także wymagane wartości o jakie należy zredukować źródła. O symulacji wykorzystano program SoundPlan, w szczególności możliwość trójwymiarowego modelowania terenu, które jest niezbędne w tego typu badaniach.

Zakres prac w celu określenia stopnia uciążliwości akustycznej analizowanego obiektu energetycznego obejmował następujące działania:

- ocenę zagrożenia hałasem środowiska poprzez wyznaczenie aktualnego stanu klimatu akustycznego – modelowanie;
 - wykonanie pomiarów akustycznych w celu weryfikacji modelu;
- wyznaczenie wielkości przekroczeń wartości normatywnych oraz ocena skuteczności zabezpieczeń wibroakustycznych na podstawie map – symulacji oddziaływań akustycznych z wykorzystaniem programu SoundPlan;

Decydującym źródłem hałasu od strony Piły Myślachowickiej są chłodnie kominowe i jest to znaczne utrudnienie przy realizacji ograniczenia wpływu Elektrowni Siersza na klimat akustyczny ze względu na brak technicznych możliwości zmniejszenia emitowanego przez nie hałasu (przez ingerencję w źródło) do wymaganego poziomu z zapewnieniem dotrzymania obecnych warunków technologicznych.

W związku z wynikami symulacji (wieloma wariantami) zaproponowano utworzenie obszaru ograniczonego użytkowania dla Elektrowni Siersza, którego granicę stanowi izofona 45dB dla pory nocnej. Na terenie obszaru ograniczonego użytkowania powinny obowiązywać następujące zalecenia:

- zakaz budowy szpitali, domów opieki, obiektów związanych ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży,
- zakaz tworzenia w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego terenów wypoczynkowo-rekreacyjnych,
- obowiązek zastosowania środków technicznych gwarantujących dotrzymanie standardów w zakresie ochrony przed hałasem wewnątrz istniejących i nowopowstających budynków, przeznaczonych na stały lub czasowy pobyt ludzi.

Przeprowadzone prace wykazały zalety symulacji rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego przy ocenie zróżnicowanych warunkach pracy (układ pracy chłodni kominowych). Model cyfrowy przygotowany został wraz z uwzględnieniem ukształtowania terenu, co było konieczne dla tego przedsięwzięcia i wg autorów powinno być standardem akustycznych badań modelowych.

Literatura

- [1] PN-ISO 1996-1 Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego. Podstawowe wielkości i procedury.
- [2] PN-ISO 1996-2 Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego. Zbieranie danych dotyczących sposobu zagospodarowania terenu.
- [3] PN-ISO 1996-3 Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego. Wytyczne dotyczące dopuszczalnych poziomów hałasu.
- [4] Ustawa „Prawo ochrony środowiska” z dnia 20 czerwca 2001 r.
- [5] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise Official Journal of the European Communities – 18-07-2002
- [6] PN-ISO 9613-1 Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas jego propagacji na zewnątrz. Obliczenia pochłaniania dźwięku przez atmosferę.
- [7] PN-ISO 9613-2 Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas jego propagacji na zewnątrz. Ogólna metoda obliczania.
- [8] PN-N-01341:2000 Hałas środowiskowy. Metody pomiaru i oceny hałasu przemysłowego.
- [9] Instrukcja obsługi programu SoundPlan

Ocena narażenia na hałas impulsowy policjantów stosujących nauszники przeciwhałasowe podczas strzelania na strzelnicy

Assessment of exposure to impulsive noise of policemen who worn ear-muffs at rifle-range

Emil Kozłowski*, Ewa Kotarbińska**

*Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Czerniakowska 16,
00-701 Warszawa, emkoz@ciop.pl

**Instytut Radioelektroniki Politechniki Warszawskiej, Nowowiejska 15/19,
00-665 Warszawa, Ewa.Kotarbinska@ire.pw.edu.pl

1. Wprowadzenie

Dyrektywa 2003/10/EC Parlamentu Europejskiego i Rady nakłada na pracodawców wymaganie dokonywania oceny narażenia na hałas pracowników na hałaśliwych stanowiskach pracy. Na strzelnicach, podczas strzelania, występuje hałas impulsowy o poziomach przekraczających dopuszczalną wartość szczytowego poziomu dźwięku C 135 dB. Zgodnie z obowiązującymi wymaganiami, policjanci podczas strzelania używają ochronników słuchu. Doboru ochronników słuchu do wielkości charakteryzujących hałas dokonuje się na podstawie zaleceń normy PN-EN 458. Celem referatu jest przedstawienie wyników pomiaru i oceny narażenia na hałas policjantów stosujących nauszники przeciwhałasowe podczas strzelania na strzelnicy.

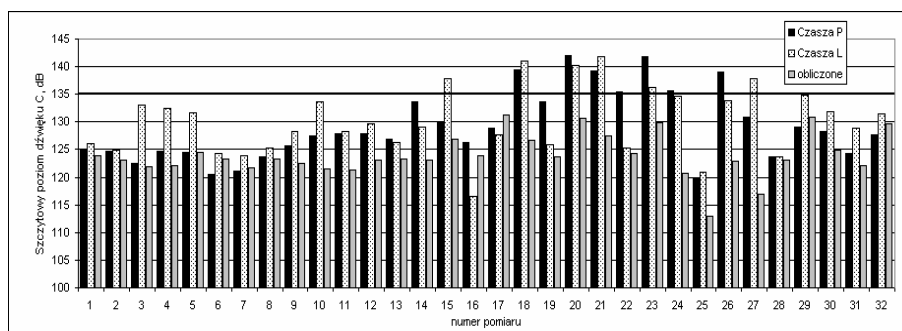
2. Metodyka pomiarów

Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem analizatorów dźwięku SVAN 948 i SVAN 945. Dwa miniaturowe mikrofony pomiarowe, stanowiące wyposażenie miernika SVAN 948, umieszczano pod czaszami tłumiącymi nauszników stosowanych przez strzelających policjantów. Trzeci mikrofon pomiarowy miernika SVAN 945 umieszczano w odległości 20 cm od głowy strzelającego policjanta. Pomiary wykonano dla strzałów zarówno z broni krótkiej (14 pomiarów) jak i długiej (18 pomiarów). Każdym z trzech mikrofonów mierzono szczytowy poziom dźwięku C. Na podstawie wyników pomiarów hałasu na stanowisku strzelającego oraz wartości tłumienia nauszników przeciwhałasowych (dane producenta) obliczono, zgodnie z zaleceniami PN-EN 458, prognozowane szczytowe poziomy dźwięku C pod czaszami nauszników.

3. Wyniki pomiarów

Na rys.1 przedstawiono zmierzone pod dwoma czaszami nauszników i obliczone wartości szczytowego poziomu dźwięku C. Otrzymane wyniki pomiarów wykazały, że w 13 z 64 badanych przypadków szczytowy poziom dźwięku C przekraczał dopuszczalną wartość 135 dB. Największe przekroczenie wynosiło 6,8 dB. W 19 badanych przypadkach różnice pomiędzy poziomami mierzonymi pod prawą i lewą czaszą stosowanych ochronników słuchu były większe od 3 dB, największa obserwowana różnica wynosi 10,6 dB. W 89 % badanych przypadków zmierzone pod czaszami wartości

szczytowego poziomu dźwięku C były wyższe od prognozowanych teoretycznie, zgodnie z zaleceniami PN-EN 458. Maksymalna różnica między wartością zmierzoną i obliczoną wynosi 20,9 dB.



Rys. 1. Zmierzone i obliczone wartości szczytowego poziomu dźwięku C pod czaszą prawą (P) oraz lewą (L) nauszników przeciwhałasowych

4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary narażenia na hałas policjantów stosujących nauszniki przeciwhałasowe podczas strzelania na strzelnicy wykazały, że w 13 z 64 badanych przypadków, wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej wartości 135 dB szczytowego poziomu dźwięku C. W większości badanych przypadków narażenie na hałas policjantów stosujących nauszniki było istotnie większe od prognozowanego teoretycznie. Głównymi przyczynami braku prawidłowej ochrony narządu słuchu oraz rozbieżności pomiędzy wartościami zmierzonymi i obliczonymi było nieprawidłowe noszenie nauszników przeciwhałasowych oraz ich zły stan techniczny. Obserwowane różnice pomiędzy wartościami szczytowego poziomu dźwięku C, mierzonymi pod prawą i lewą czaszą nauszników, wskazują na celowość wykonywania pomiarów metoda dwukanałową.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz.1833
- [2] Norma PN-EN 458, Ochronniki słuchu – zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej – Dokument przewodni
- [3] E. Kotarbińska, E. Kozłowski, *Badania narażenia na hałas osób stosujących ochronniki słuchu*, Sprawozdanie z prac CIOP-PIB, SP 05.8, II etap (2006)

Referat opracowany na podstawie wyników uzyskanych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowanego w latach 2005-2007 w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, w zakresie zdań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Autorzy referatu wyrażają swoje podziękowanie Firmie SVANTEK za pomoc i współudział w przeprowadzeniu pomiarów na strzelnicy.

Akustyczna skuteczność tłumika absorpcyjnego z kanałem spiralnym na wlocie

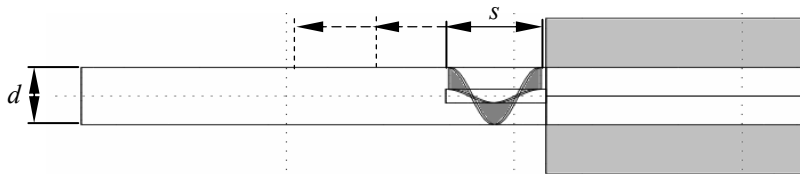
Acoustic attenuation performance of round silencer with spiral duct on the inlet

Wojciech Łapka, Czesław Cempel

Politechnika Poznańska, Instytut Mechaniki Stosowanej, Zakład Wibroakustyki i Biodynamiki Systemów, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, E-mail: wlapka@poczta.onet.pl

1. Wprowadzenie

W pracy przedstawiono wyniki modelowania numerycznego zestawu cylindrycznego kanału wlotowego z kanałem spiralnym i tłumika absorpcyjnego - rysunek 1. Na końcu kanału, tuż przy wlocie tłumika, umieszczano zwoj spirali z cylindrycznym trzpieniem tworząc w ten sposób kanał spiralny. Trzpień zajmuje ok. 5,8% powierzchni poprzecznej kanału. Rozpatrywano trójwymiarowe modele z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES) bez przepływu powietrza obliczane w programie COMSOL Multiphysics [1]. Przeprowadzono analizę harmoniczną w zakresie częstotliwości f od 10Hz do 2kHz bez korekcji częstotliwościowej A dla różnych wartości skoku spirali. Określano tłumienie przenoszenia TL (ang. Transmission Loss) [2,3].



Rys.1. Widok okrągłego kanału wlotowego z jednym zwojem kanału spiralnego na końcu i cylindrycznym tłumikiem absorpcyjnym.

2. Interpretacja wyników

W analizowanym układzie zmienny skok s spirali odniesiono do stałej wartości średnicy kanału d . Bezwymiarową wartość s/d zmieniano od wartości 0,4 do 8 co 0,4. Cylindryczny tłumik absorpcyjny wypełniony jest materiałem absorpcyjnym o oporności przepływu 36736 rayl/m co odpowiada gęstości wełny mineralnej 75 kg/m³ i średnicy włókna 8μm. Wymiary tłumika absorpcyjnego odniesione do średnicy kanału d wynoszą odpowiednio: długość 4,64 d , średnica 2,72 d . Długość kanału wlotowego wynosi 8,16 d . Nominalna częstotliwość odcięcia dla kanału wlotowego o średnicy d wynosi 1600Hz.

Dla zwiększenia przejrzystości prezentowanych wyników w tabeli 1 określono wzrost tłumienia przenoszenia ΔTL wynikający z wtrącenia zwoju kanału spiralnego w badany układ akustyczny.

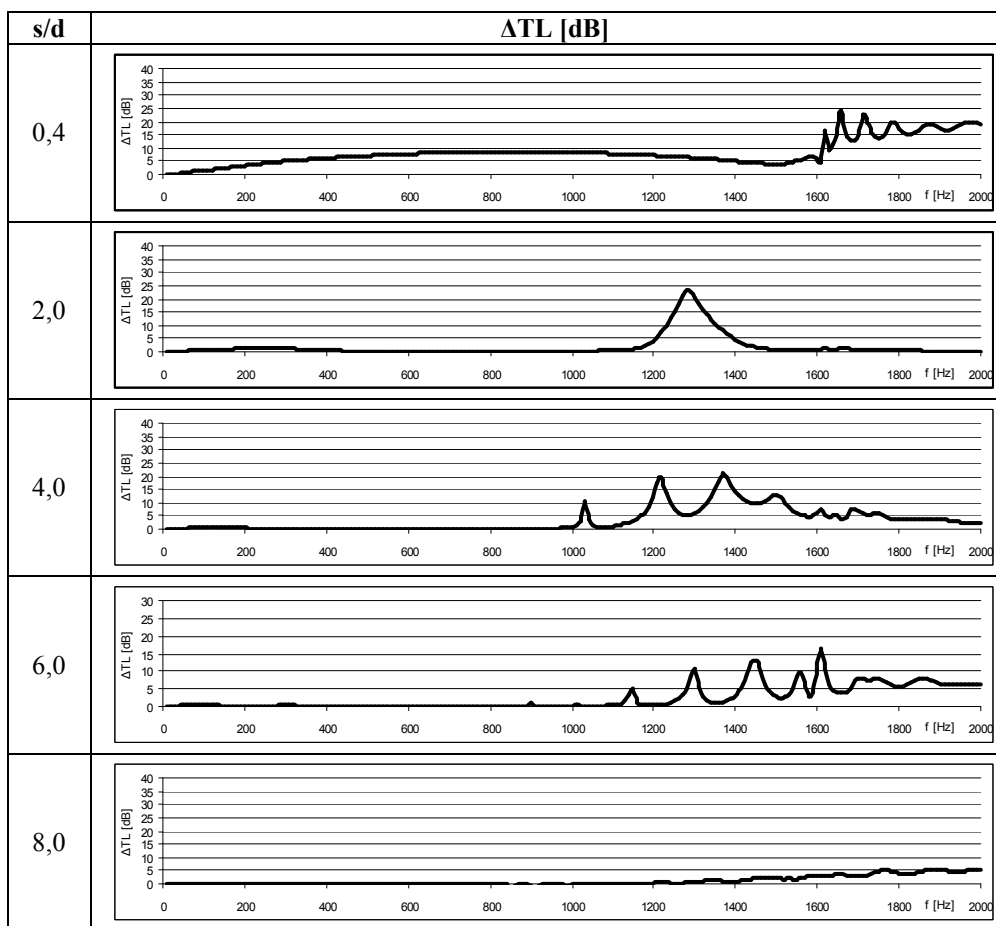


Tabela 1. Wzrost tłumienia przenoszenia ΔTL [dB] wynikający z wtrącenia zwoju kanału spiralnego dla wybranych wartości s/d w analizowanym układzie akustycznym.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskazują na to, że w rozpatrywanym układzie akustycznym zwoj kanału spiralnego umieszczony na wlocie do cylindrycznego tłumika absorpcyjnego zwiększa jego skuteczność tłumienia hałasu. Tłumienie to zależy od skoku spirali i częstotliwości dźwięku.

Literatura

- [1] COMSOL Multiphysics version 3.3, Acoustic Module. COMSOL AB, 1994-2006, <http://www.comsol.com>
- [2] Istvan L. VER, Leo L. BERANEK, *Noise and vibration control engineering*, 2nd edition 2005, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, p. 966.
- [3] M.L. MUNJAL, *Acoustics of Ducts and Mufflers with Application to Exhaust and Ventilation System Design*, John Wiley & Sons, Inc., Calgary, Canada, 1987, p. 328.

Tłumienie hałasu drogowego przez zewnętrzne ściany budynków biurowych

The road traffic noise attenuation by external wall of office building in standard work condition

Witold Mikulski

 Centralny Instytut Ochrony Pracy, Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, E-mail: wimik@ciop.pl

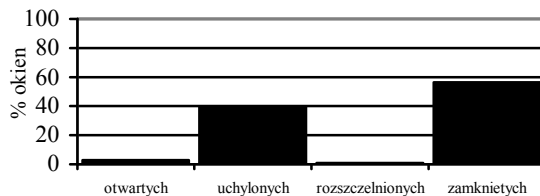
1. Wprowadzenie

Hałas drogowy przenika do wnętrza budynku głównie przez okna. W przypadku okien zamkniętych wewnątrz budynku jest on pomijalnie mały w stosunku do hałasu od innych źródeł. Nie można go jednak pominąć, gdy okna nie są zamknięte. W artykule omówiono wyniki badań pomiarowych zmniejszenia hałasu drogowego podczas przenikania go poprzez okna i otwory okienne do wnętrza budynku. Zmniejszenie to określa się wielkością $\Delta L_{A,z-w,d}$ lub w pasmach częstotliwości $\Delta L_{f,z-w,d}$.

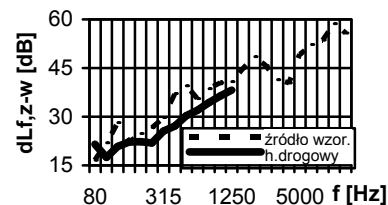
 2. Metoda określania $\Delta L_{A,z-w,d}$

$\Delta L_{A,z-w,d}$ określa się różnicą poziomów dźwięku A mierzonego w dwóch punktach: na zewnątrz budynku oraz wewnątrz budynku. Pomiary zostały przeprowadzone dla 30 pomieszczeń biurowych, o podobnym wyposażeniu i identycznych oknach. Przedmiotem badań było, w jakim stopniu $\Delta L_{A,z-w,d}$ zależy od tego czy okno jest otwarte czy zamknięte.

W celu określenia typowych reżimów otwierania okien wykonano badania, w jaki sposób otwierane są okna oraz jak często (rys.1). Wyniki badań określiły, że najczęściej okna są zamknięte, rozszczelnione, uchylone lub otwarte. Dlatego badania $\Delta L_{A,z-w,d}$ wykonano dla tych reżimów otwarcia okien.



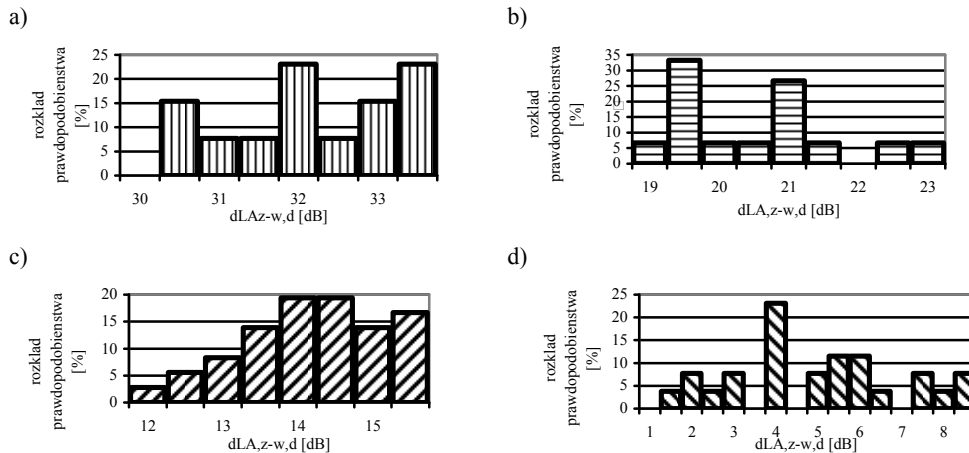
Rys. 1 Procent okien zamkniętych, rozszczelnionych, uchylonych lub otwartych, z 1296 badanych pokoi.


 Rys.2 $\Delta L_{f,z-w,d}$ w tercjowych pasmach częstotliwości

3. Wyniki pomiarów

Na rys. 2 pokazano $\Delta L_{f,z-w,d}$ zmierzone dla jednego pomieszczenia od hałasu drogowego oraz dla porównania od źródła wzorcowego. Na rys.3 pokazano wyniki pomiarów rozkładu prawdopodobieństwa $\Delta L_{A,z-w,d}$ dla wszystkich badanych pomieszczeń, dla czterech reżimów otwarcia okna. Średnia wartość $\Delta L_{A,z-w,d}$ dla wszystkich badanych pomieszczeń wynosi:

- dla okien zamkniętych 32,0dB (odchylenie standardowe $S_v=1,2$ dB) i wynika z pola powierzchni i izolacyjności akustycznej okien,
- dla okien rozszczelnionych 20,3dB ($S_v= 1,5$) i wynika z pola powierzchni i izolacyjności akustycznej okien oraz wielkości otworu w oknie,
- dla okien uchylonych 14,0 dB ($S_v=1,5$ dB) i wynika z wielkości otworu w oknie,
- dla okien otwartych 4,8 dB ($S_v= 2,2$ dB) i wynika z wielkości otworu w oknie.



Rys. 2 Rozkład prawdopodobieństwa wyników pomiarów $\Delta L_{A,z-w,d}$ dla wszystkich badanych pomieszczeń dla : a) okien zamkniętych, b) rozszczelnionych, c) uchylonych, d) otwartych.

4. Wnioski

W ok. 40 % pomieszczeń biurowych hałas drogowy wpływał na wypadkowy hałas na stanowiskach pracy.

W przypadkach uchylecia lub otwierania okien hałas drogowy przenikający do pomieszczeń zależy tylko od wielkości otworu między oknem, a ramą. W szacunkowej prognozie hałasu można przyjąć, że wewnątrz budynku poziom dźwięku A będzie mniejszy niż na zewnątrz budynku o: 20 dB dla okien rozszczelnionych, 14 dB dla okien uchylonych, 5 dB dla okien otwartych.

Literatura

- [1] W. Mikulski, *Used results of assessments road traffic noise in surroundings to estimate road traffic noise at workplaces in the office buildings*, Materiały z 13th Congress on Sound and Vibration (ICSV 13), 3-6.12.2006, Honolulu, USA,
- [2] J. Nurzyński, *Empirical study on the sound insulation of simple slot ventilators*, *Journal of Building acoustics*, vol 13, no 3, 2006, wydany przez Multi-Science Publishing CO. LTD., United Kingdom.

Referat opracowany na podstawie wyników uzyskanych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowanego w latach 2005-2007, w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Wpływ metody pomiaru na przebieg charakterystyki przenoszenia nausznika przeciwhałasowego

Effect of measurement method on an earmuff's frequency response

Rafał Młyński^{*}, Jan Żera^{*,**}

^{*}Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, E-mail: rmlynski@ciop.pl

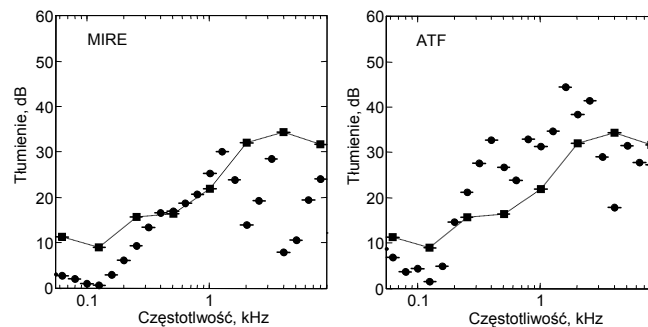
^{**}Instytut Radioelektroniki Politechniki Warszawskiej
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, E-mail: jazer@ciop.pl

1. Wprowadzenie

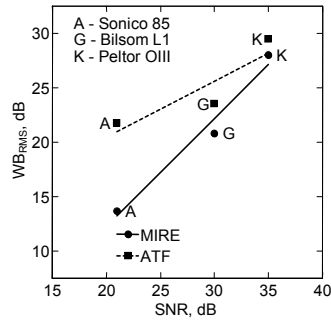
Celem niniejszej pracy jest stwierdzenie w jakim stopniu przebieg charakterystyki amplitudowej nauszników przeciwhałasowych zależy od przyjętej metody pomiarowej. Porównano pomiar wykonywany z udziałem osoby, przy mikrofonie umieszczonym u wejścia zewnętrznego przewodu słuchowego (metoda MIRE), z pomiarem nausznika przeciwhałasowego umieszczonego na testerze (ATF) spełniającym wymagania normy ISO 4869-3 [1]. Pomiary trzech nauszników przeciwhałasowych (lekkiego, średniego i ciężkiego) wykonano z zastosowaniem sygnału testowego MLS [2, 3], który używany był uprzednio do oceny skuteczności ochronników słuchu przed hałasem impulsowym [4, 5].

2. Wyniki i dyskusja

Rysunek 1 przedstawia wyniki pomiaru tłumienia transmisji lekkiego nausznika przeciwhałasowego z udziałem osoby oraz na testerze ATF. Dla porównania zamieszczono dane tłumienia dźwięku (metoda REAT) zmierzone zgodnie z [6]. Rysunek 2 przedstawia wskaźnik WB_{RMS} , wyznaczony jako średnie tłumienie nausznika w całym paśmie częstotliwości, w porównaniu do parametru SNR nausznika, wyznaczonego na podstawie danych tłumienia dźwięku, zgodnie z [7].



Rys. 1. Charakterystyki amplitudowe nausznika przeciwhałasowego Sonico 85 w pasmach 1/3 oktaowych. Koła zaczerpnięte: pomiar techniką MIRE z udziałem osoby lub pomiar na testerze ATF. Linia przerywana: tłumienie nauszników według normy ISO EN 4869-1.



Rys. 2. Zestawienie wartości wskaźnika WB_{RMS} z wartościami SNR dla badanych nauszników w przypadku pomiarów MIRE oraz pomiarów na testerze ATF.

Zmienność wyników pomiarów wykonanych techniką MIRE jest mniejsza niż pomiarów z użyciem testera ATF. Ponadto, tłumienie zmierzone techniką MIRE jest mniejsze niż tłumienie dźwięku nauszników mierzone metodą REAT. Wyniki metody MIRE mogą być zatem uznane za bezpieczne oszacowanie wartości otrzymywanych metodą REAT, które stanowią podstawę dla certyfikacji ochronników słuchu.

Literatura

- [1] ISO 4869-3:1989: *Acoustics - Hearing protectors - Part 3: Simplified method for the measurement of insertion loss off ear-muff type protectors for quality inspection purposes.*
- [2] D.D. Rife, J. Vanderkooy. *Transfer Function Measurement with Maximum-Length Sequences.* J. Audio Eng. Soc. **37**(6), 419-443 (1989)
- [3] J. Vanderkooy. *Aspects of MLS Measuring Systems.* J. Audio Eng. Soc. **42**(4), 219-231 (1994)
- [4] R. Mlynski, J. Zera. *Measuring amplitude and phase response of earmuffs.* First Forum on Effective Solutions for Managing Occupational Noise Risks - Lille, France (3-5 July 2007)
- [5] R. Mlynski, J. Zera. *Assessment of impulse noise reduction from earmuff complex transmittance.* 19th International Congress on Acoustics - Madrid, Spain (2-7 September 2007)
- [6] ISO 4869-1:1990: *Acoustics - Hearing protectors - Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation.*
- [7] ISO 4869-2:1994: *Acoustics - Hearing protectors - Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn.*

Właściwości akustyczne lekkich układów warstwowych

The acoustic properties of the lightweight sandwich structures

Elżbieta Nowicka

Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Akustyki, ul. Ksawerów 21, 02-656 Warszawa

E-mail: E.Nowicka@itb.pl

1. Wprowadzenie

Na budowlanym rynku polskim lekkie układy warstwowe stają się co raz częściej obiektem zainteresowania inwestorów oraz wykonawców budynków przemysłowych. Są one chętnie stosowane jako ściany zewnętrzne lub przegrody wewnętrzne ze względu na łatwy i szybki montaż oraz stosunkowo małą masę elementów. Typowymi przykładami tego typu układów są płyty warstwowe czy układy dwupowłokowe wytwarzane podczas montażu obiektu.

W referacie omówiono wyniki badań różnych układów pod kątem zwiększenia ich własności dźwiękoizolacyjnych, jak również dźwiękochłonnych. Ustosunkowano się do zagadnień poprawy własności akustycznych lekkich układów warstwowych, wykorzystując prace Zakładu Akustyki ITB w ramach procedur aprobacyjnych i zasad projektowania akustycznego obiektów budowlanych, a także syntezy wyników badań różnych rozwiązań materiałowo – konstrukcyjnych lekkich układów warstwowych.

2. Właściwości akustyczne lekkich struktur w odniesieniu do normy PN – EN 14509:2007

Lekkie panele stosowane w budownictwie przemysłowym są układami złożonymi z rdzenia i okładzin z blachy stalowej. Typowymi rdzeniami są: styropian, wełna mineralna lub pianka poliuretanowa. Właściwości dźwiękoizolacyjne takich układów kształtują się pod wpływem zjawisk rezonansowych. Częstotliwość rezonansowa układu zależy przede wszystkim od dynamicznego modułu sprężystości materiału rdzenia, jego grubości i sposobu połączenia z płytami okładzinowymi oraz od masy powierzchniowej okładzin. [4].

W 2007 roku do katalogu Polskich Norm weszła norma wyrobu [1] na płyty warstwowe z rdzeniem z materiału termoizolacyjnego w obustronnej okładzinie z blachy. Norma wprowadza odmienny sposób oceny właściwości akustycznych płyt warstwowych niż dotychczas stosowany w procesie aprobacyjnym. Oprócz określenia właściwości izolacyjnych przegród, norma wymaga także specyfikacji własności dźwiękochłonnych paneli.

Typowymi układami warstwowymi stosowanymi w budownictwie użyteczności publicznej są:

- płyty warstwowe,
- układy dwupowłokowe, składające się z dwóch warstw wykonanych z blach fałdowych lub kaset metalowych pełnych i wypełniającej warstwy izolacji cieplnej z wełny mineralnej lub waty szklanej,

– układy warstwowe z pustką powietrzną.

Pierwsza grupa układów charakteryzuje się stosunkowo najniższymi własnościami dźwiękoizolacyjnymi i dźwiękochłonnymi. Sztywne połączenie poszczególnych elementów płyt warstwowych powoduje znaczne obniżenie ich właściwości akustycznych. Izolacyjność akustyczna tego typu układów wynosi około $R_w \approx 25 - 32$ dB, w zależności od rdzenia. Współczynnik pochłaniania dźwięku, niezależnie od zastosowanego rdzenia, wynosi $\alpha \approx 0.1$. Układy dwupowłokowe, przez zmianę łączenia poszczególnych elementów, uzyskały lepsze własności akustyczne, zarówno pod względem izolacyjności akustycznej ($R_w \approx 32 - 44$ dB) jak i dźwiękochłonności ($\alpha \approx 0.8$). Ostatnia grupa lekkich układów warstwowych charakteryzuje się najlepszymi własnościami dźwiękoizolacyjnymi ($R_w \approx 32 - 49$ dB).

Zwiększenie izolacyjności akustycznej lekkich układów warstwowych uzyskano poprzez wprowadzenie zmian konstrukcyjnych – rezygnacja ze sztywnego łączenia poszczególnych warstw układu, wprowadzenie pustki powietrznej, a zastosowanie okładziny z blachy perforowanej pozwoliło na zwiększenie współczynnika pochłaniania dźwięku.

Literatura

- [1] PN – EN 14509 *Self-supporting double skin metal faced insulating panels - Factory made products - Specifications*
- [2] E. Nowicka *The improvement of acoustic insulation of light façades of industrial buildings*. Archives of Acoustics, **30**(4), pp 215–218 (2005).
- [3] E. Nowicka *Właściwości akustyczne płyt warstwowych*. Materiały Budowlane, **8**(396), pp. 7–8 (2005).
- [4] B. Szudrowicz, J. Nurzyński *Właściwości akustyczne lekkich ścian osłonowych, Nowoczesne lekkie ściany osłonowe*. Konferencja naukowo – techniczna, Mrągowo, pp.169–183 (1997).

Dwuetapowy wielokanałowy bazujący na filtrze Wienera system aktywnej redukcji hałasu z mikrofonami wirtualnymi i sprzężeniem zwrotnym

A two-stage wiener filter based multi-channel feedback virtual microphone acoustic noise reducing system

Marek Pawełczyk

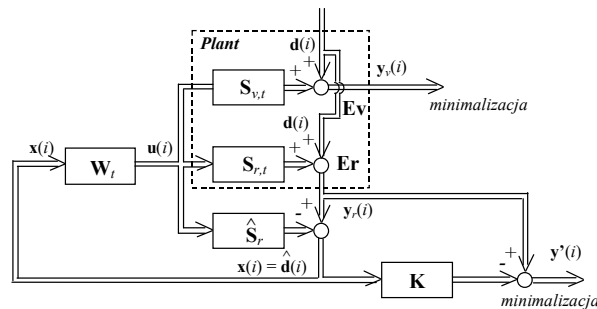
*Institut Automatyki, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 16, 44-101 Gliwice
 E-mail: Marek.Pawelczyk@polsl.pl*

1. Wprowadzenie

Strefy ciszy generowane w układach aktywnej redukcji hałasu są zwykle niewielkich i rozmiarów, zależnych między innymi od widma hałasu. Dla hałasów przemysłowych ich rozmiary są ograniczone nawet do około 5 cm. Ponadto w warunkach rzeczywistych posiadają one złożone kształty. Zasadniczym celem układów aktywnej redukcji hałasu opartych o ideę tak zwanych mikrofonów wirtualnych jest wytworzenie stref ciszy w zadanych położeniach [1], [2], [3]. Zastosowanie podejścia wielokanałowego umożliwia generację wielu stref ciszy, na przykład w okolicach obydwu uszu użytkownika lub zwiększenie rozmiarów tych stref.

2. Proponowany układ sterowania

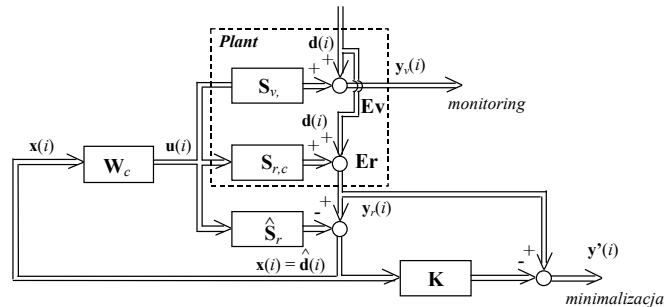
Celem niniejszego referatu jest zaproponowanie rozbudowanego układu sterowania charakteryzującego się korzystnymi właściwościami w przypadku zmian parametrów obiektu przy założeniu stacjonarności hałasu [1], [2]. W układzie tym można wyróżnić dwa etapy pracy. W pierwszym etapie (Rys. 1) minimalizowane są bezpośrednio sygnały pochodzące z mikrofonów rzeczywistych tymczasowo umieszczonych w punktach tak zwanych mikrofonów wirtualnych E_v , czyli miejscach, w których wymagana jest redukcja hałasu. W tym samym czasie strojone są dodatkowe filtry \mathbf{K} w których „zapamiętywany” jest stan układu odpowiadający wysokiej redukcji hałasu przy mikrofonach wirtualnych.



Rys. 1. Pierwszy etap pracy układu sterowania.

Filtry te są następnie wykorzystywane podczas drugiego etapu do wypracowania wartości zadanych dla sygnałów mierzonych przez mikrofony rzeczywiste E_r (Rys. 2). Nie

korzysta się tu z pomiarów w punktach mikrofonów wirtualnych. Ze względu na uniwersalność układu wybrano strukturę ze sprzężeniem zwrotnym. Mimo to zadanie projektowe sformułowano tak, aby móc skorzystać z podejścia Wienera. Szczególnej uwagi wymagał problem nieminimalnofazowości obiektu. Dlatego oprócz faktoryzacji macierzy gęstości widmowych mocy zakłóceń, zastosowano faktoryzację macierzy wielomianowych na część minimalnofazową (zewnętrzna) oraz wszechprzepustową (wewnętrzna), a także dekompozycję rozwiązania na część przyczynową i nieprzyczynową [4].



Rys. 2. Drugi etap pracy układu sterowania.

Zaproponowany układ sterowania został zastosowany do celów redukcji hałasu w zagłówku fotela [3]. W ramie zagłówka umieszczono dwa głośniki oraz dwa mikrofony rzeczywiste. Celem była redukcja hałasu wokół uszu osoby zajmującej miejsce na fotelu, przy założeniu możliwości istotnych zmian położenia głowy. Redukcji poddano zarówno hałas tonowy, jak i szerokopasmowy. Zaobserwowano, że strefy ciszy ulokowane zostały zgodnie z założeniami. Zmiana położenia głowy w granicach kilkunastocentymetrowych gwarantowała odpowiedni komfort akustyczny.

Podziękowanie

Praca została częściowo sfinansowana ze środków budżetowych na naukę w roku 2007.

Literatura

- [1] M. PAWELCZYK. *Design and analysis of a virtual-microphone active noise control system*. In Proc. 12th Int. Congress on Sound and Vibration, Lisbon, CD edition (2005).
- [2] M. PAWELCZYK. *Feedback Control of Acoustic Noise at Desired Locations*. Silesian University of Technology Press, Gliwice (2005).
- [3] B. RAFAELY, J. GARCIA-BONITO, S.J. ELLIOTT. *Feedback control of sound in headrest*. In Proc. ACTIVE'97, Budapest, Hungary, pp. 445-456 (1997).
- [4] S.J. ELLIOTT. *Signal Processing for Active Control*. Academic Press, London (2001).

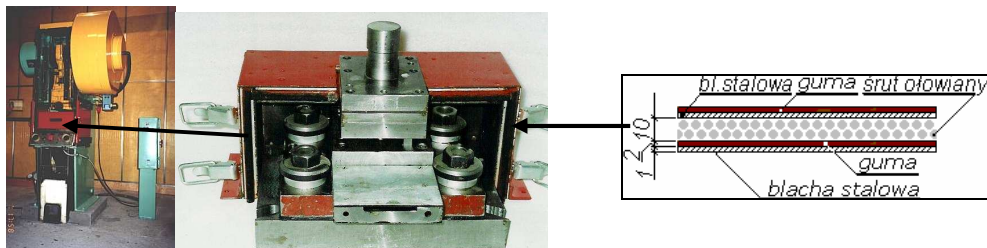
Badania własności dźwiękochłonnych wybranych materiałów ziarnistych

Investigations of Sound Absorbing Properties of Selected Granular Materials

Jan Sikora, Jadwiga Turkiewicz

Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: jsikora@agh.edu.pl, turkiewi@imir.agh.edu.pl
1. Wprowadzenie

W rozwiązaniach konstrukcyjnych ścianek (przegród) zabezpieczeń ograniczających nadmierną aktywność akustyczną maszyn i urządzeń [1], stosuje się w większości przypadków dwa rodzaje materiałów skojarzonych ze sobą: materiały dźwiękochłonne i dźwiękoizolacyjne. Z punktu widzenia struktury i cech materiałowych, w zabezpieczeniach wibroakustycznych można stosować cztery zasadnicze grupy materiałów charakteryzujących się dobrymi własnościami pochłaniania dźwięku: porowate, włókniste, o strukturze „plastra miodu” oraz ziarniste. Ta ostatnia grupa materiałów ma szczególnie zastosowanie w projektowaniu obudów zintegrowanych [2]. Autorzy opracowali szereg prototypowych rozwiązań przegród, z materiałami ziarnistymi stanowiącymi rdzeń dźwiękochłonny, charakteryzujących się bardzo wysoką izolacyjnością akustyczną przy małej grubości przegrody, rzędu 10 – 20 mm. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na rysunku 1.

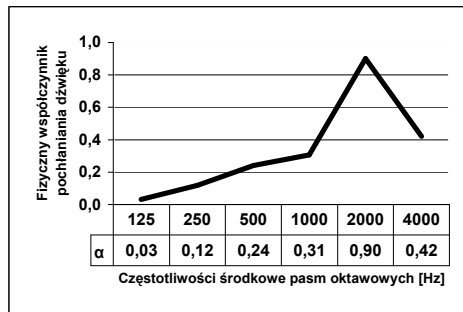


Rys.1. Śrut ołowiany w przegrodzie dwuściennej (ściance) zintegrowanej obudowy dźwiękochłonno-izolacyjnej wykrojnika w prasie mechanicznej mimośrodowej.

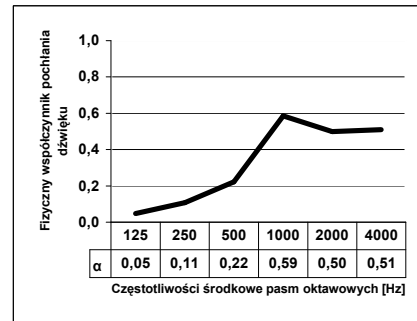
Na rdzenie dźwiękochłonne stosowano [3,4] materiały ziarniste typu: śrut ołowiany, granulaty z tworzywa sztucznych i kruszyw budowlanych, piasek kwarcowy. W literaturze naukowo-technicznej brak jest jakichkolwiek wyników badań własności pochłaniania dźwięku przez tego typu materiały. Stąd też rozpoczęto badania, z których pierwsze obiecujące wyniki zaprezentowano w artykule. Autorzy planują szersze badania pod kątem opracowania zestawu materiałów ziarnistych oraz przegród dwuściennych z rdzeniami z tych materiałów, z charakterystykami ich własności akustycznych.

2. Badania doświadczalne

Badania fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku przeprowadzono dla czterech rodzajów materiałów ziarnistych (wykorzystywanych wcześniej jako rdzenie dźwiękochłonne w przegrodach dwuściennych): granulatu z polipropylenu i polistyrenu, granulatu z keramzytu oraz piasku kwarcowego. Przebadano próbki materiałów o grubościach warstwy 20 i 50 mm. Poszczególne warstwy materiałów umieszczano w specjalnie opracowanych tulejach z tworzywa sztucznego, z jednej strony zamkniętych pełnymi ściankami a z drugiej elastyczną cieką włókniną o drobnych oczkach. Przykładowe charakterystyki fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku dla próbek o grubości 20 mm przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Charakterystyka współczynnika pochłaniania dźwięku keramzytu



Rys. 3. Charakterystyka współczynnika pochłaniania dźwięku piasku

3. Podsumowanie

Materiały ziarniste okazują się być bardzo przydatnymi w projektowaniu przegród dźwiękochłonna-izolacyjnych przeznaczonych do konstruowania, między innymi, zintegrowanych obudów. Przegrody takie charakteryzują się bardzo dobrą izolacyjnością akustyczną. Uzyskane wyniki badań własności pochłaniania dźwięku, potwierdzają też słuszność zakwalifikowania materiałów ziarnistych do grupy materiałów dźwiękochłonnych. Zwłaszcza, że struktura materiałów ziarnistych zbliżona jest do struktury materiałów porowatych i włóknistych (pory - kanaliki wypełnione powietrzem).

Literatura

- [1] Z. Engel, J. Sikora . *Obudowy dźwiękochłonna-izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowania*. Wyd. AGH, Kraków 1998.
- [2] Z. Engel, J. Sikora, J. Turkiewicz. *Zintegrowane obudowy dźwiękochłonna-izolacyjne*. Bezpieczeństwo Pracy, Nauka i Praktyka, Miesięcznik CIOP, Warszawa 1999, Nr 3, str. 1-8.
- [3] J. Sikora. *Obudowa maszyn i urządzeń, jako sposób ochrony stanowisk pracy przed hałasem*. Materiały Budowlane, Nr 8/2005, str. 35-37.
- [4] J. Sikora, J. Turkiewicz. *Nowe rozwiązania obudów ograniczających hałas maszyn i urządzeń*. Wyd. Pol. Krakowskiej 2005, CZASOPISMO TECHNICZNE, zeszyt Mechanika, Nr 14-M/2005, str. 109 – 123.

Metoda wstępnej identyfikacji hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy

Method of the preliminary identification of ultrasonic noise at workstations

Bożena Smagowska, Witold Mikulski

*Central Institute for Labour Protection – National Research Institute
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warsaw, Poland
E-mail: bosma@ciop.pl, wimik@ciop.pl***1. Wprowadzenie**

Określenie na stanowiskach pracy ryzyka wynikającego z narażenia na hałas ultradźwiękowy jest trudne m.in. z powodu tanich mierników hałasu ultradźwiękowego. Z tego powodu ryzyko to określa się bardzo rzadko pomijając te stanowiska, na których może ono występować. Dlatego istnieje potrzeba opracowania wstępnej metody, która umożliwiłaby wytypowanie stanowiska pracy, na których zagrożenie hałasem ultradźwiękowym może występować.

Metoda wstępnej identyfikacji hałasu ultradźwiękowego oparta jest na dwóch wskaźnikach (wskaźniki logiczne przyjmujące wartości: tak lub nie), z których każdy może wskazywać na istnienie hałasu ultradźwiękowego. Pierwszy to „czy stanowisko pracy znajduje się w najbliższym sąsiedztwie źródeł ultradźwiękowych” (energia akustyczna ultradźwięków propagowana jest tylko na niewielkie odległości, więc stanowiska pracy znajdujące się w większej odległości od źródła nie są zagrożone tym rodzajem hałasu). Wskaźnik ten umożliwi wytypowanie stanowisk pracy, na które hałas dociera od źródeł ultradźwiękowych technologicznych oraz nie technologicznych (znanych z emisji hałasu ultradźwiękowego). Wskaźnik pierwszy identyfikujący ten rodzaj hałasu na podstawie znajomości emisji hałasu źródeł ultradźwiękowych jest prosty do wyznaczenia, ale w wielu przypadkach nie jest wystarczający (np. w zakresie nie technologicznych źródeł ultradźwiękowych), dlatego do identyfikacji zastosowano także wskaźnik drugi. Drugi wskaźnik umożliwia określenie stanowisk pracy, na których może występować hałas ultradźwiękowy. Identyfikacja ta jest na podstawie cech hałasu słyszalnego, mogących wskazywać na istnienie składowych ultradźwiękowych. Wskaźnik drugi szczególnie dobrze identyfikuje nie technologiczne źródła ultradźwiękowe.

W ramach metody opracowano ankietę, w której w zakresie identyfikacji źródeł hałasu wymieniono następujące źródła ultradźwiękowe:

- ❖ technologiczne urządzenia ultradźwiękowe: płuczki ultradźwiękowe, zgrzewarki ultradźwiękowe, drążarki ultradźwiękowe, ultradźwiękowe lutownice ręczne, wanny do cynowania, inhalatory ultradźwiękowe, odstraszcze gryzoni,
- ❖ nie technologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego:
 - sprężarki, palniki, zawory, narzędzia pneumatyczne,
 - strugarki, szlifierki, frezarki, piły tarczowe,
 - maszyny do konfekcjonowania i włókiennicze (przewijarki, przędzarki, skręcarki).

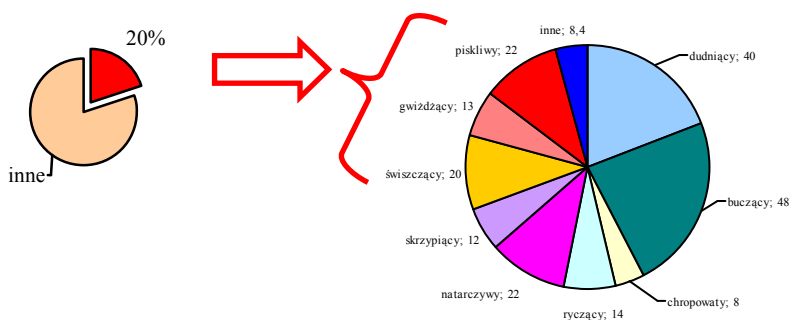
W części ankiety dotyczącej subiektywnej oceny cech hałasu wysokoczęstotliwościowego podano następujące określenia hałasu wysokoczęstotliwościowego): świszczący, gwizdzący, piskliwy (mogącego wskazywać na istnienie hałasu ultradźwiękowego).

2. Identyfikacja hałasu ultradźwiękowego w oparciu występowanie źródeł ultradźwięków – wskaźnik 1

Pracownicy wymienili w sąsiedztwie ich stanowisk pracy następujące urządzenia będące źródłami hałasu ultradźwiękowego (ilość stanowisk pracy na 176 ocenianych): zawory - 55, sprężarki - 41, szlifierek - 39, narzędzia pneumatyczne - 37, palniki - 27, piły tarczowe - 22, płuczki - 10, strugarki - 8, frezarki - 8, wiertarki - 5, pompy - 4, silniki elektryczne - 4, tokarki - 3, turbiny - 2, wentylatory - 2 oraz po jednej - dmuchawa, piła taśmowa, spawarka, generator.

3. Identyfikacja hałasu ultradźwiękowego w oparciu występowanie charakterystycznych cech hałasu wysokoczęstotliwościowego – wskaźnik 2

Na ogólną liczbę 166 osób, które stwierdziły występowanie hałasu na stanowiskach pracy 20% określiło hałas jako świszczący lub gwizdzący lub piskliwy, przy czym: że hałas jest piskliwy określiło - 22%, świszczący - 20%, gwizdzący - 13%. (Rys.1) Osoby, te jednocześnie potwierdziły obecność następujących źródeł hałasu ultradźwiękowego: płuczek - 4, sprężarek - 13, palników - 10, zaworów - 21, narzędzi pneumatycznych - 22, strugarek - 5, szlifierek - 17, frezarek - 2, pił tarczowych - 13. Wśród tych osób 92% osób potwierdziło, że były wykonywane pomiary hałasu wysokoczęstotliwościowego lub ultradźwiękowego, natomiast 70% z nich stwierdziło, że powiadomiono ich o przekroczeniu poziomów dopuszczalnych.



Rys. 1. Procentowy udział osób wskazujących cechy hałasu wysokoczęstotliwościowego

Przeprowadzone badania weryfikacyjne potwierdzają występowanie korelacji pomiędzy określonymi cechami hałasu mogącymi wskazywać na istnienie hałasu ultradźwiękowego, a wynikami pomiarów potwierdzającymi występowanie hałasu ultradźwiękowego.

Literatura

- [1] W. Mikulski, B. Smągowska i in. 05.7 pt: *Ocena ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas ultradźwiękowy*. CIOP-PIB Warszawa 2005.

Zastosowanie metody inwersji w ocenie emisji hałasu z zakładów przemysłowych

Application of the inverse method in the estimation of noise emission from industrial plants

Lesław Stryczniewicz

*Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków A. Mickiewicza 30
E-mail: stryczni@agh.edu.pl*

1. Wprowadzenie

Wyznaczenie modelu akustycznego zakładu przemysłowego to zagadnienie związane z identyfikacją źródeł hałasu na terenie zakładu, ich lokalizacją i parametrami akustycznymi. Źródła te należy aproksymować źródłami zastępczymi, których charakterystyki będą odpowiadały parametrom pola akustycznego wokół zakładu. W prostych przypadkach można to wykonać poprzez wyznaczenie mocy akustycznej każdego źródła z osobna i umieszczenia go w planie przestrzennym zakładu, a następnie wyznaczyć wpływ tego źródła na poziom dźwięku w punktach pomiarowych znajdujących się na zewnątrz zakładu w środowisku. Przy dużej złożoności źródeł hałasu np. wielka ilość i różnorodność np.: instalacje, duże urządzenia pracujące w ciągach technologicznych, rurociągi, taśmociągi itp. oszacowanie mocy akustycznych pojedynczych źródeł jest znacznie utrudnione. Mając w dyspozycji oprogramowanie opisujące model propagacji w przestrzeni otwartej, znając wartości poziomów ciśnienia akustycznego w wielu punktach obserwacji umieszczonych w środowisku wokół zakładu przemysłowego, a także informacje o strukturze źródeł hałasu na terenie zakładu możemy odwrócić zadanie i wyznaczyć moce akustyczne źródeł znajdujących się na terenie zakładu.

2. Model zakładu przemysłowego

Wyznaczenie modelu akustycznego zakładu przemysłowego to zagadnienie związane z identyfikacją źródeł hałasu na terenie zakładu, ich lokalizacją i parametrami akustycznymi. Źródła te należy aproksymować źródłami zastępczymi, których charakterystyki będą odpowiadały parametrom pola akustycznego wokół zakładu. Zależność pomiędzy wartościami mocy akustycznych układu źródeł dźwięku i wartościami ciśnienia akustycznego w punktach obserwacji dana jest zależnością [3]:

$$\mathbf{p}^2 = \mathbf{G} \cdot \mathbf{N} \quad (1)$$

gdzie: \mathbf{p}^2 - jest wektorem określającym funkcję wartości kwadratu ciśnienia akustycznego p w M punktach obserwacji i dla danej częstotliwości f;

\mathbf{N} - wektor określa (oszacowaną) wartość mocy akustycznej poszczególnych źródeł dźwięku w danej częstotliwości;

\mathbf{G} - określa wartość funkcji przejścia pomiędzy wartością mocy akustycznej poszczególnego źródła i wartością ciśnienia akustycznego w poszczególnych punktach obserwacji.

Poziom hałasu, emitowanego przez poszczególne źródła, wyznacza się w ten sposób, aby obliczony poziom dźwięku od wszystkich źródeł w pewnym punkcie kontrolnym był równy wielkości zmierzonej (kalibracja i weryfikacja modelu). Wymaganie to w większości przypadków (gdy źródeł jest więcej niż punktów pomiarowych) nie udaje się spełnić. W pozostałych przypadkach można to założenie spełnić, jednak wynik obliczeń obarczony będzie znacznym błędem, gdyż na pewno popełnimy jakieś błędy przy wyznaczaniu poziomu ciśnienia akustycznego w punktach obserwacji lub przy wyznaczeniu wartości funkcji przejścia.

3. Parametry modelu

Inwersyjne wyznaczanie (na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego w punktach obserwacji) poziomów mocy akustycznej poszczególnych maszyn bywa zwykle bardzo wrażliwe na zakłócenia w punktach odbioru.

Gdy mamy do dyspozycji więcej wyników pomiarów wartości poziomów ciśnienia akustycznego w punktach obserwacji niż źródeł dźwięku możemy pokusić się o kalibrację modelu w oparciu o metodę najmniejszej sumy kwadratów (LSM). Metoda ta niekiedy prowadzi do wyznaczenia ujemnych wartości mocy akustycznej źródeł. W takich przypadkach należy zastosować nieujemny algorytm optymalizacji problemu (NNLS).

Oprócz minimalizacji błędu metoda ta jednak nie nadaje się do zastosowań praktycznych w przypadku kalibracji większości modeli akustycznych. W metodzie tej największą wagę mają pomiary wykonane blisko źródła dźwięku (gdzie poziomy ciśnienia akustycznego bywają największe, to i różnice pomiędzy wartością zmierzoną i obliczoną bywają największe). Do kalibracji modelu akustycznego najistotniejsze są pomiary wykonane zwykle najdalej (nie przy granicy zakładu lecz przy najbliższej zabudowie mieszkaniowej). Pomiary akustyczne w tych punktach obciążone też są zwykle największym błędem z uwagi na największy wpływ tła akustycznego.

Jednym z rozwiązań tego problemu jest zastosowanie do kalibracji modelu akustycznego metody największej wiarygodności. Największą zaletą tej metody jest możliwość wykorzystania wiedzy a priori odnośnie źródeł dźwięku oraz wskazanie istotności wartości poziomów dźwięku w punktach pomiarowych.

Praca została wykonana w ramach prac statutowych KMiWA AGH.

Literatura

- [1.] O.GUASCH, F.X.MAGRANS, P.V.RODRIQUEZ, *An inversion modelling method to obtain the acoustic power of the noise sources in a large factory*, Applied Acoustics 63, (2002) 401-417.
- [2.] Z.ENGEL, J.PIECHOWICZ, L.STRYCNIEWICZ, *Podstawy wibroakustyki przemysłowej*, WIMiR AGH Kraków, 2003.
- [3.] STRYCNIEWICZ L., *The method of inversion and the maximum likelihood estimation in acoustic tests of industrial sources in the environment*, Archives of Acoustics, Vol 31, No 4, 295-301, PAS, Warszawa, 2006
- [4.] TARANTOLA, *Inverse problem theory*, Amsterdam Elsevier Science B.V., 1994.
- [5.] ZALEWSKI J. *The discrete inverse theory of determining the acoustic power of different noise sources in a factory*. Proc. 53 OSA 2003 2006

Algorytmy odszumiania sygnałów akustycznych

The algorithms of acoustic signals filtering

Karolina Uzar

*Politechnika Wroclawska, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki
ul. Janiszewskiego 7/9, 50-372 Wrocław, E-mail: karolina.uzar@pwr.wroc.pl***1. Wprowadzenie**

Sygnal mowy można opisać na wiele sposobów. Podstawowym opisem jest opis w dziedzinie czasu. Jednak z punktu widzenia obecnie stosowanych metod cyfrowego przetwarzania i analizy sygnału mowy, opis w dziedzinie czasu jest tylko pierwszym krokiem do dalszych badań. Użycie poszczególnych metod uzależnione jest od zadania jakie zostało wyznaczone – rozpoznawanie mowy, rozpoznawanie mówcy czy synteza sygnału. Analizy częstotliwościowe pozwalają opisać sygnał mowy w sposób parametryczny. Badany sygnał zwykle zostaje podzielony na krótkie odcinki czasu ok. 10-30 ms. Jeśli w tych odcinkach dokonuje się analizy częstotliwościowej, wówczas mówimy o analizie czasowo-częstotliwościowej.

2. Analiza czasowo-częstotliwościowa - STFT

Krótkookresowa transformata Fouriera (STFT *ang. Short Time Fourier Transform*) prowadzi do otrzymania zespolonego widma sygnału zmiennego w czasie. W analizie częstotliwościowej na krótkich odcinkach czasowych wykorzystywane są okna. Okna, które są głównie stosowane w analizie sygnałów to: Hanna, Blackmana, Kaisera, Bartletta. Jednak wadą stosowania okien innych niż prostokątne jest fakt, iż część sygnału w okolicy brzegów okna jest tłumiona. Jednym z rozwiązań może być przesuwanie okna czasowego wzdłuż przebiegu sygnału i analiza poszczególnych stanów dla każdej chwili t . Zmieniając długość przesuwanego okna zmienia się rozdzielczość czasowa i częstotliwościowa analizy. Obliczona moc w analizowanym segmencie czasowo-częstotliwościowym jest dodatnia co niewątpliwie jest zaletą tej metody. Wadą natomiast jest mała rozdzielczość i konieczność kompromisu między rozmyciem czasowym i częstotliwościowym.

3. Analiza czasowo-częstotliwościowa – Rozkłady Wignera i Wignera-Ville'a

Dla sygnałów niestacjonarnych moc widmowa nie musi być stała w czasie, gdyż zawartość częstotliwości może się zmieniać. Analiza takiej sytuacji wymaga śledzenia zmian gęstości energii sygnału jednocześnie w czasie i częstotliwości. W rozkładzie Wignera, dla poszczególnych chwil czasowych szacuje się funkcję autokorelacji $R(t, \tau)$ za pomocą pojedynczych iloczynów próbek. Po zastosowaniu przekształcenia Fouriera uzyskuje się w każdej chwili t oszacowanie widma mocy sygnału. Takie oszacowanie funkcji autokorelacji powoduje, że z jednej strony, rozdzielczość jest największa spośród wszystkich możliwych, ale też obliczone widmo mocy nie jest wszędzie dodatnie. Ponadto ceną, jaką płaci się za brak uśrednienia autokorelacji jest istnienie w obrazie czasowo-częstotliwościowych fałszywych składowych, które nazywa się składowymi skośnymi.

Składowe skrośne stanowią najpoważniejszy problem w interpretacji wyników analizy rozkładu Wignera. Powstają one dokładnie na środku odcinków łączących rzeczywiste składowe, co utrudnia odgadnięcie struktury lub właściwości nieznanego sygnału. Jednym ze sposobów redukcji ilości składowych skrośnych jest odfiltrowanie z sygnału składowych o ujemnych częstotliwościach i poddanie analizie Wignera zespolonego sygnału analitycznego. Taka analiza nosi nazwę rozkładu Wignera-Ville'a.

4. Analiza czasowo-częstotliwościowa – Metoda S

Dla poszczególnych chwil czasowych funkcję autokorelacji $F(t, \tau)$ przemnaża się przez funkcję okna. Zauważyć można, że dla $P(\theta)=1$ powyższy wzór charakteryzuje rozkład Wignera, natomiast jeśli $P(\theta)=\delta(\theta)/2$ powyższy wzór określa spektrogram. Metoda S daje dobre wyniki analizy. Nie powoduje rozmycia czasowego ani częstotliwościowego oraz nie powstają składowe skrośne w obrazie czasowo-częstotliwościowym. Jakość odsumiania zmienia się pod wpływem zmiany długości okna. Jednak długość okna nie może być dowolna.

5. Podsumowanie

Metody analizy czasowo-częstotliwościowej stały się narzędziem, które jest najczęściej wykorzystywane do analizy widmowej i przetwarzania sygnałów niestacjonarnych. Rodzina reprezentacji czasowo-częstotliwościowych jest duża.

Literatura

- [1] BOASHASH B., *Time Frequency Signal Analysis and Processing*, Elsevier 2003.
- [2] ZIELIŃSKI T.P., *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów*. ANTYKWA 2002.
- [3] STANKOVIĆ L., On the Realization of the Polynomial Wigner-Ville Distribution for Multicomponent Signal. *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 5, no. 7, 1998.
- [4] STANKOVIĆ L., A method for time-frequency analysis. *IEEE Signal Processing Letters*, vol.42, 1994.

Statystyczna analiza pomiaru hałasów dla serii statków ro-ro

Statistical analysis of a noise measurements for the series of ro-ro ships

Mateusz Weryk

*Centrum Techniki Okrętowej S.A. Zakład Badawczo-Rozwojowy**Ośrodek Mechaniki Konstrukcji Okrętu**ul. Rzeczypospolitej 8, 80-369, Gdańsk, Polska**E-mail: mateusz.weryk@cto.gda.pl***1. Wprowadzenie**

Świadomość zagrożeń hałasowych występujących na statkach jest z roku na rok coraz większa. Dlatego też pomiary drgań i hałasów w trakcie prób morskich odgrywają tak ważną rolę, w szczególności teraz, kiedy limity hałasowe stają się coraz bardziej restrykcyjne.

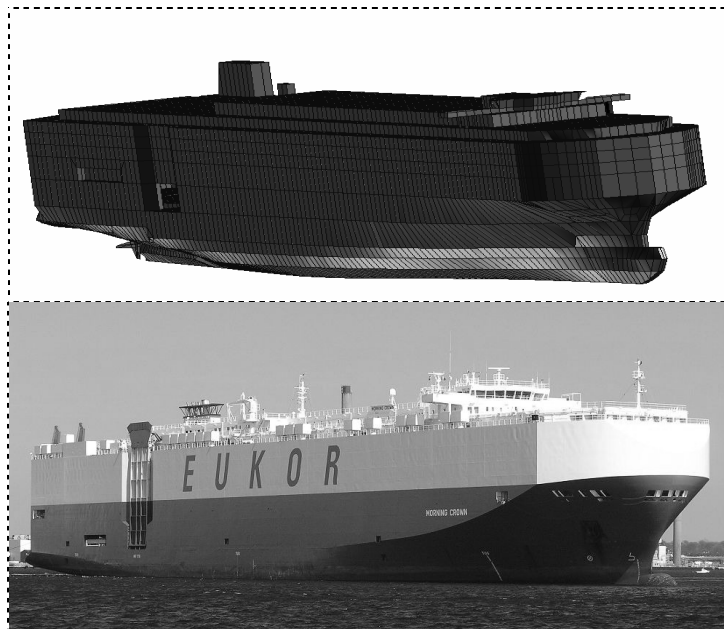
Dla nowo budowanych jednostek standardową procedurą jest tworzenie prognozy hałasowej na etapie projektu koncepcyjnego i technicznego. Ze względu na ograniczanie masy statku, bardzo ważnym zagadnieniem staje się również masa pasywnej izolacji akustycznej. Dlatego też, aby uniknąć mało praktycznych rozwiązań, trzeba posiłkować się rzeczywistymi danymi źródeł hałasu na statku.

Prognozowanie hałasu oparte jest głównie na dostępnej wstępnej dokumentacji oraz charakterystykach głównych źródeł hałasu tj. silników, generatorów, pędników itp., które to charakterystyki, są dostarczane (zmierzone bądź obliczone) przez producenta danego urządzenia. Jednakże prognoza hałasowa dla danego statku może się różnić od rzeczywistości eksploatacyjnej, a zarazem powstaje pytanie jakie jest odstępstwo danej prognozy hałasu od jego rzeczywistego pomiaru. Standardowo do analizy hałasu bierze się pod uwagę najgorszy przypadek który może kiedykolwiek wystąpić, dlatego też spodziewane hałasy na statku rzeczywistym będą niższe niż przewidziane we wspomnianej prognozie. Jednakże biorąc pod uwagę wpływ ograniczenia ciężaru izolacji akustycznej, prognozę hałasu wykonuje się dla typowych stanów eksploatacyjnych statku. W tym przypadku poziomy hałasu będą „niewiele” różniły się od przewidywanych. Powstaje pytanie jak dużo jest to „niewiele”? Przeprowadzenie pomiarów w trakcie rejsów próbnych na serii identycznych statków stwarza możliwość sporządzenia statystycznej analizy wyników pomiarów hałasu. Niniejsza publikacja poświęcona jest analizie statystycznej wyników pomiarów hałasu na serii statków ro-ro.

2. Opis problemu

Jak wspomniano wcześniej, normalną procedurą dla nowo budowanych jednostek jest wykonanie prognozy hałasu rozprzestrzeniającego się na statku. Analizę taką wykonuje się na etapie projektu technicznego (a wstępną analizę hałasową na etapie projektu koncepcyjnego). Jest kilka metod wykorzystywanych do przeprowadzenia prognozy hałasu np. SEA, FEM, BEM itd. Każda z tych metod ma swoje ograniczenia ale ostatecznym sprawdzianem prognozy hałasu jest porównanie jej z wynikami pomiarów na rzeczywistym

obiekcie. Dla serii jednakowych statków z takimi samymi wymuszeniami głównych źródeł hałasu, można oczekiwać że wyniki pomiarów hałasu będą zbliżone. W przypadku niniejszej pracy dokonano analizy wyników pomiarów hałasu na 8 seryjnych statkach ro-ro. Pomiary hałasu zostały przeprowadzone w 89 miejscach (Siłownia, Pokład mieszkalny, Sterówka, Skrzydła mostka).



Rys. 1. Statek RORO "MORNING CROWN" oraz model FEA

Literatura

- [1] M. Weryk. *Statistical energy analysis methods in marine applications*. Hydroacoustics, vol. 8, XII Symposium z Hydroakustyki, Puck 2005, s. 233-246
- [2] M. Weryk. *Statistical Energy Analysis method in noise prediction of a ship being rebuild*. EURONOISE 2006. 6th European Conference on Noise Control. Acta Acustica united with Acustica. Vol.2. Supplement 1. CS44, Tampere. Finland 2006.
- [3] S. Weyna, *Uniwersalna metodyka prognozowania poziomu hałasu na nowo projektowanych statkach cz. II*, Politechnika Szczecińska, Szczecin, 1984.
- [4] S. Weyna, *Rozpływ energii akustycznych źródeł rzeczywistych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2005
- [4] I. Asmussen, W. Menzel, H. Mumm. *Ship Vibration*, Germanischer Lloyd, Hamburg, 2001
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/ro-ro>
- [6] <http://www.jtashippphoto.dk>

Dokładność map akustycznych

Accuracy of Noise Maps

Jacek Wierzbicki

Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

E-mail: wierzbic@agh.edu.pl

1. Wprowadzenie

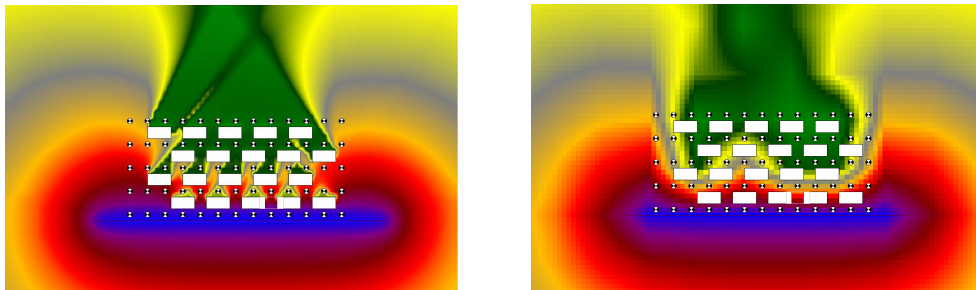
Na podstawie map akustycznych tworzone mają być plany działań przeciwhałasowych i m.in. podejmowane decyzje ekonomiczne, stąd niezbędna jest informacja o dokładności tych map [1]. Na sumaryczny błąd składają się błędy wynikające zarówno z niedokładności odwzorowania geometrii, parametrów akustycznych jak i wybranego algorytmu obliczeń:

$$\Delta L_A = \sum_i \delta L_{Ageometria} + \sum_j \delta L_{Aparametry} + \sum_k \delta L_{Aobliczeni a} \quad (1)$$

Celem prowadzonych badań jest określenie udziału poszczególnych składników i opracowanie metod weryfikacji map i programów je tworzących.

2. Badania modelowe

Badania modelowe przeprowadzono zarówno dla rzeczywistych obszarów miast jak i układów syntetycznych z wykorzystaniem dwóch programów obliczeniowych. Dzięki odpowiednim testom niektóre błędy oprogramowania są wyraźniej widoczne:



Rys. 1. Wpływ wielkości rastra na obliczony zakres oddziaływania hałasu.

Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze obserwacje [2]. Wskazują także konieczność opracowania standardowych testów oprogramowania np. na wybranym obszarze zawierającym typowe elementy, dla którego dostępne są roczne wyniki pomiarów hałasu.

3. Wyniki

Przeprowadzane badania zgodnie z oczekiwaniami [3] wskazują na różny wpływ

poszczególnych parametrów na błąd obliczeń. Poniższa tabela przedstawia przykładowe wyniki jednej z symulacji:

Nazwa parametru	Kategoria	Możliwy błąd			Błąd ΔL [dB]
		<1dB	1-5dB	>5dB	
Lokalizacja źródeł dźwięku	geom				11,7
Liczba odbić	oblicz				7,0
Wysokość budynków	geom				5,0
Rodzaj nawierzchni	param				4,5
Norma obliczeniowa	oblicz				3,9
Lokalizacja budynków	geom				3,4
Liczba pojazdów	param				3,0
Typ drogi	param				2,6
Poprzeczne wymiary budynków	geom				2,4
Szerokość drogi	geom				0,2
Uwzględnienie roślinności	param				0
Liczba mieszkańców	oblicz				0

W ostatniej kolumnie umieszczono wartości maksymalnego możliwego do popełnienia błędu w obliczanym poziomie dźwięku przy zmianie parametru w zakresie możliwej pomyłki (np. podczas określania wysokości budynku metodą mnożenia liczby kondygnacji przez wysokość pojedynczej, arbitralnie założono dokładność rzędu 20%).

4. Wnioski

- Obecnie praktycznie niemożliwe jest jednoznaczne określenie dokładności tworzonych map akustycznych z powodu zarówno braku pełnych (rocznych) danych pomiarowych jak i nieokreślonej niepewności wyników pomiarów. Możliwe jest natomiast określenie dokładności (niepewności) obliczanych wartości poziomu dźwięku w związku ze zmianą danych modelu i algorytmu obliczeń.
- Przed zaimplementowaniem przez producentów oprogramowania metod Harmonoise /Imagine konieczne jest opracowanie jednolitych testów – wybranych, reprezentatywnych obszarów miast w celu możliwości porównania programów obliczeniowych.
- Konieczna jest modyfikacja interfejsu wprowadzania danych do programów, wiele błędów może być wyeliminowanych na tym etapie (np. natężenie ruchu drogowego – informacja o braku przypisanej wartości, sumowanie/kontrola liczby pojazdów itp.).

Literatura

- [1] H.J.A. van Leeuwen. *Noise Maps and Action Plans – Relations to Accuracy, Validation and Annoyance*. Eurnoise 2006, Tampere.
- [2] B. Rudno-Rudzińska, T. Habrat. *Influence of Calculation Parameters on Time and Accuracy of City Road Noise Computations*. Forum Acusticum 2005, Budapest.
- [3] European Commission Working Group – *Assessment of Exposure to Noise. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, Version 2 (2006).

Niepewność pomiaru hałasu przemysłowego w dalszej odległości od źródła

Uncertainty of industrial noise measurement at distant locations from the source

Tadeusz Wszolek

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: twszolek@agh.edu.pl*

Sposób prowadzenia pomiarów hałasu w środowisku pochodzącego od instalacji lub urządzeń określony jest w tzw. metodykach referencyjnych [6,7]. W metodyce dotyczącej pomiaru hałasu określa się m.in. położenie punktów pomiarowych, warunki pogodowe, w jakich powinny być przeprowadzone pomiary oraz maksymalną niepewność rozszerzoną, która przy poziomie ufności 95 %, nie powinna przekraczać wartości 2,7 dB. Z kolei w budżecie niepewności przy pomiarach i prognozowaniu wyników w danym środowisku, wg. diagramu Ishikawy, należy uwzględnić jego wpływ zarówno na system pomiarowy, jak i na mierzoną wielkość. W przypadku hałasu zależnie od pogody zmieniają warunki propagacji dźwięku, może zmienić się także poziom mocy akustycznej samego źródła (np. hałas od systemów wentylacji i klimatyzacji, chłodni, czy hałas ulotu w liniach elektroenergetycznych).

Pośród warunków pogodowych, w których można wykonywać pomiary, duża rozpiętość dopuszczalnej temperatury, wilgotności, ciśnienia atmosferycznego, a zwłaszcza prędkości wiatru do 5 m/s, może być przyczyną znaczących rozrzutów wyników pomiarowych w dalszej odległości, przy podobnym poziomie hałasu samego źródła. Sporo miejsca temu zagadnieniu poświęcono ostatnio w pracach projektu HARMONOISE [1], a obecnie IMAGINE [2], w którym główną uwagę skoncentrowano na jakości pomiaru i modelowaniu hałasu lotniczego i przemysłowego w tym w szczególności wpływu warunków środowiskowych.

Wprawdzie w normie PN ISO 9613-1,2 [3,4] zawarte są ujednoczone metody obliczania wpływu tłumienia dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej wraz z algorytmami umożliwiającymi wyznaczenie jego absorpcji przez atmosferę w określonych warunkach pogodowych, poprzez obliczenie współczynnika C_{met} . Jednak korekcja wpływu niektórych parametrów pogodowych, zwłaszcza wiatru, jest bardzo uboga. Ponadto już samo zastosowanie metody opracowanej dla tonów do obliczania tłumienia w pasmach częstotliwości (np. oktawy lub 1/3 oktawy) obarczone jest błędem co najmniej $\pm 0,5$ dB. Nieco lepsze wyniki daje metoda oparta na całkowaniu widma. Jednak w obu przypadkach konieczna jest dokładna znajomość warunków atmosferycznych na drodze propagacji dźwięku. W praktyce zaś największy kłopot sprawia nieznajomość rzeczywistego kierunku i prędkości wiatru na całej drodze propagacji dźwięku oraz rozkładu temperatury w funkcji wysokości nad poziomem terenu, mających decydujący wpływ na składową prędkość dźwięku w kierunku do odbiornika.

W obliczaniu niepewności prognozowania wskaźnika LDWN, na podstawie pomiarów krótkotrwałych, poza charakterystyką czasową pracy samego źródła, istotne znaczenie będą mieć przede wszystkim dokładna znajomość warunków meteorologicznych, w których

wykonywano pomiary oraz całoroczny rozkład prawdopodobieństwa występowania danych warunków pogodowych, a w przypadku określonego punktu obserwacji, rozkładu składowej prędkości wiatru w kierunku źródło-punkt obserwacji.

Zamieszczone w pracy wyniki pomiarowe w otoczeniu jednego z dużych zakładów na terenie Polski pokazują, że nawet w zbliżonych warunkach pogodowych i stanie pracy zakładu, rozrzut wyników pomiarowych w odległości do 1 km od granicy tego zakładu (rzeczywista odległość od źródeł hałasu może być znacznie większa) przekracza 20 dB. Główną przyczyną tych rozrzutów był zmienny kierunek wiatru, pomimo że jego prędkość była niewielka – maksymalnie do 3 m/s.

W pracy przedstawiono analizę niepewności cząstkowych wielkości mierzonej i prognozowanej na przykładzie dużego zakładu przemysłowego oraz hałasu pochodzącego od impulsów wysokoenergetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu warunków atmosferycznych oraz struktury widmowej badanego sygnału. W przypadku hałasu impulsowego także niepewności szacowania jego mocy akustycznej oraz poziomu referencyjnego w odległości 1 km od źródła.:

Literatura

- [1] HARMONOISE project Work Package 2 and 7, Reference Model, Choice of basic sound propagation models,
- [2]. IMAGINE Project - Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment
- [3]. PN-ISO 9613-1:2000. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas jego propagacji na zewnątrz. Obliczenia pochłaniania dźwięku przez atmosferę.
- [4]. PN-ISO 9613-2:2000. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas jego propagacji na zewnątrz. Ogólna metoda obliczania
- [5]. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2004 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji, Dz.U. Nr 238, 2004, poz.2842,
- [6]. ISO/TS 13474. Acoustics – Impulse sound propagation for environmental noise assessment.

Niepewność w badaniach laboratoryjnych izolacyjności akustycznej
przegród*Uncertainty of sound insulation measurement in laboratory conditions*

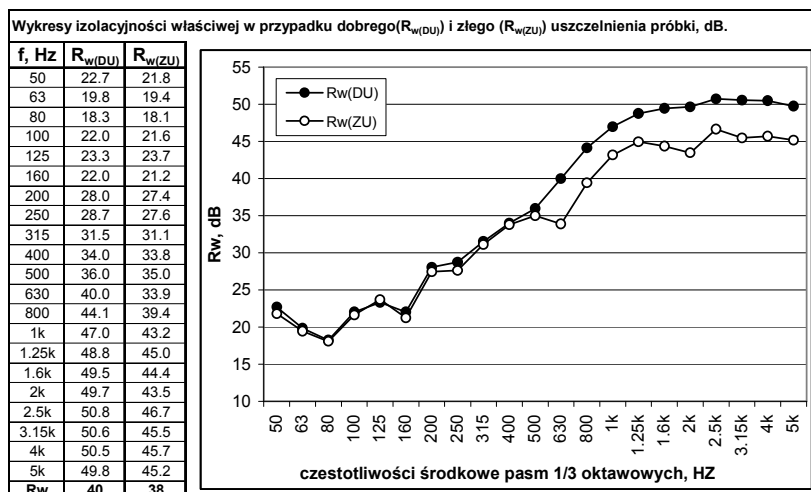
Tadeusz Wszolek

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: twszolek@agh.edu.pl*

Ochrona przeciwhałasowa jest jedną z sześciu wymagań stawianych w dyrektywach unijnych. W budynkach, izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych, stosowana jest do określania jakości akustycznej ścian pomiędzy pomieszczeniami. Jednak ocena izolacyjności akustycznej bywa dość trudna, często niejednoznaczna nie tylko w warunkach terenowych, ale także w laboratoryjnych pomimo, iż istnieją ujednolicone procedury badawcze, określone w normach serii ISO 140 oraz ISO 717. O ile w warunkach terenowych mogą występować trudności ze spełnieniem wszystkich wymagań normowych, zwłaszcza przy określeniu wielkości przenikania bocznego, a tyle w warunkach laboratoryjnych, problemów takich być nie powinno wcale lub co najwyżej w bardzo ograniczonym zakresie. Tak jednak nie jest. Trudności przede wszystkim z odtwarzalnością wyników występują o czym świadczą m.in. wyniki badań międzylaboratoryjnych zawartych w pracach [1,2]. Kłopoty występują także z powtarzalnością wyników w badaniach w tym samym laboratorium. Mogą być spowodowane niejednorodnością pola akustycznego w komorach (nadawczej i odbiorczej), niejednorodnością czasu pogłosu w komorze odbiorczej, w tym błędzie pomiaru czasu pogłosu zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości [1]. Kolejne czynniki to przenikanie boczne i tło akustyczne, zwłaszcza przy dużych wartościach izolacyjności. Oddzielnym zagadnieniem jest sposób mocowania próbki w oknie pomiarowym. Właściwe uszczelnienie próbki, szczególnie gdy jej krawędzie nie są gładkie (jak np. w przypadku szyby) bywa niekiedy kłopotliwe, a jego wpływ na wynik pomiaru znaczący. W badaniach izolacyjności akustycznej prowadzonych w KMiW AGH [5] wykazano, że błąd pomiaru R_w z tytułu złego uszczelnienia próbki może wynosić nawet 3-4 dB, a w pojedynczych pasmach częstotliwości powyżej 1 kHz błąd może sięgać nawet ponad 10 dB. Jednak doświadczony zespół pomiarowy jest w stanie stosunkowo łatwo zauważyć taką nieprawidłowość w przebiegu krzywej izolacyjności. Dlatego w analizie niepewności nie brano takiego przypadku pod uwagę.

Przykład wykresów izolacyjności z prawidłowo i źle uszczelnioną próbką pokazano na rysunku.1

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono analizę niepewności cząstkowych wymienionych wyżej czynników i ich wpływ na niepewność rozszerzoną w pasmach 1/3 oktaowych oraz izolacyjności akustycznej R_w , korzystając z prawa propagacji niepewności.



Rys.1. Wykresy izolacyjności akustycznej w pasmach 1/3 oktawowych oraz izolacyjności R_w przy dobrze i źle uszczelnionej przegrodzie.

Część spośród niepewności cząstkowych to niepewności typu B (niepewność systemu pomiarowego, warunków klimatycznych, tła akustycznego oraz wymiarów stanowiska badawczego) pozostałe to niepewności typu A (wyników pomiarowych poziomu ciśnienia akustycznego i czasu pogłosu).

Wszystkie analizy i obliczenia dotyczą stanowiska badawczego do badań izolacyjności akustycznej w zespole komór pogłosowych KMiW AGH w Krakowie.

Literatura

- [1] Dan B. Pedersen, J. Roland, G. Raabe, W. Maysendolder – *Measurement of the Low Frequency Insulation of Building Components*, Acta Acustica Vol. 86 (2000)495-505
- [3] M. Niemas, A. Iżewska, *Repeatability and Reproducibility of Sound Reduction Index Measured in Laboratory Conditions, Managing Uncertainty in Noise Measurement and Prediction* – Symposium Le Mans (France), 27-29 June 2005
- [2] Ch. Simmons, *Uncertainty of Measured and Calculated Sound Insulation in Buildings – Results of a Round Robin Test*, Managing Uncertainty in Noise Measurement and Prediction – Symposium Le Mans (France), 27-29 June 2005.
- [4] PN-EN 20140-2:1999. Akustyka. Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności elementów budowlanych. Wyznaczanie, weryfikacja i zastosowanie danych określających dokładność.
- [5] Badania izolacyjności akustycznej w zespole komór pogłosowych KMiW AGH w Krakowie.

Modelling of vibration and noise control
of a submerged circular plate

Jerzy Wiciak

*AGH University of Science and Technology, Department of Mechanics and Vibroacoustics
Al. Mickiewicza 30, 30-095 Kraków
E-mail: wiciak@agh.edu.pl*

This paper presents a numerical approach for modelling of thin circular plate clamped on the edges in a rectangular enclosure and containing distributed piezoelectric actuators under dynamic mechanical and electrical loadings. The plate is also loaded on one side by heavy fluid (water) and on the other side has contact with an air. The finite element method analysis was performed, with the application of ANSYS computer package. The numerical solutions were confirmed experimentally. The obtained results demonstrate a significant reduction of the vibration level and sound pressure level with the use of piezoceramic actuators.

ELEKTROAKUSTYKA



ELECTROACOUSTICS

Badanie rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego
występującego wokół napowietrznej stacji elektroenergetycznej
sąsiadującej z budynkami mieszkalnymi

*Investigation of the acoustic pressure distribution occurring around an aerial substation adjacent
to apartment buildings*

Sebastian Borucki, Tomasz Boczar, Andrzej Cichon

*Politechnika Opolska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Prószkowska 76, Budynek 2, 45-758 Opole
E-mail: s.borucki@po.opole.pl, t.boczar@po.opole.pl, a.cichon@po.opole.pl*

1. Syntetyczny opis artykułu

Podjęta w artykule tematyka prac badawczych dotyczy pomiarów wartości poziomu ciśnienia akustycznego (hałasu) występującego wokół napowietrznej stacji elektroenergetycznej GPZ (Główny Punkt Zasilowy) sąsiadującej z budynkami mieszkalnymi. W pracy przedstawiono uzyskane wartości hałasu towarzyszącego poszczególnym urządzeniom elektroenergetycznym, głównie transformatorom podczas ich normalnej eksploatacji. Głównym celem prowadzonych prac było dokonanie porównania oraz oceny zmierzonych wartości ciśnienia akustycznego z wartościami dopuszczalnymi, określonymi w obowiązujących w Polsce unormowaniach środowiskowych. Uzyskane podczas realizacji eksperymentu wyniki przeprowadzonych pomiarów pozwoliły na wyznaczenie graficznych obszarów ciśnień akustycznych, by na ich podstawie możliwe było ustalenie strefy, dla której otrzymane wartości przyjmują parametry dopuszczalne.

Na rysunku 1 przedstawiono procedurę pomiarową realizowaną dla jednej z pozycji pomiarowych (punktu pomiarowego) wokół transformatora elektroenergetycznego. Kolejna fotografia przedstawia wygląd ogólny zastosowanego narzędzia pomiarowego.



Rys. 1 Zastosowane urządzenie pomiarowe podczas pomiarów
na stacji elektroenergetycznej.

Z analizy przeprowadzonych badań wynika, że podczas wieloletniej pracy urządzeń elektrycznych zainstalowanych na stacjach elektroenergetycznych poziom ciśnienia akustycznego jaki emitują do otoczenia nie jest stały lecz ulega zmianom. Zwiększenie się poziomu hałasu powyżej wartości dopuszczalnych może być zatem przyczyną nie

spełnienia norm środowiskowych. Ze względu na znaczny wzrost świadomości społeczeństwa oraz chęć dochodzenia swoich praw, główną konsekwencją ich przekraczania (norm) jest coraz większa liczba roszczeń. Istotne jest więc aby poziom ciśnienia akustycznego był monitorowany podczas badań okresowych, szczególnie wokół transformatorów dużej mocy.

Literatura

- [1] PN-EN 60076-10 – Transformatory, Część 10: Wyznaczanie poziomów dźwięku, Warszawa listopad 2003r.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 stycznia 2002 w sprawie wartości progowych poziomów hałasu. Dz. U. Nr 8 Poz. 81.
- [3] Boczar T., Borucki S., Cichoń A., Lorenc M.: „Measurement results of the acoustic pressure level during unit transformer operation”, 36th International Conference and Exhibition, Defektoskopie 2006, 7 - 9 November 2006, pp. 25 – 31.
- [4] Testing of Power Transformers – ABB
- [5] SVANTEK: “SVAN 945A Manual Instruction” Svantek Sp. z o. o. Warszawa 2002

Analiza porównawcza sygnałów EA generowanej przez wyładowania
niezupełne jedno i wieloźródłowe

Comparative analysis of the AE signals generated by partial single- and multi-source discharges

Andrzej Cichoń, Tomasz Boczar, Sebastian Borucki, Marcin Lorenc

*Politechnika Opolska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Prószkowska 76, Budynek 2, 45-758 Opole
E-mail: s.borucki@po.opole.pl, t.boczar@po.opole.pl, a.cichon@po.opole.pl*

1. Syntetyczny opis artykułu

Szeroko pojęta diagnostyka transformatorów elektroenergetycznych jest bardzo ważnym i dynamicznie rozwijającym się obszarem działalności przedsiębiorstw energetycznych, a także ośrodków naukowo – badawczych. Ważną częścią kompleksowej oceny stanu technicznego transformatorów elektroenergetycznych jest detekcja i lokalizacja WNZ. W praktyce do oceny stanu izolacji transformatorów stosowane są różne metody diagnostyczne, których ważnym uzupełnieniem jest dynamicznie rozwijająca się metoda EA. Rozwój tej metody spowodowany jest głównie postępem techniki pomiarowej, jak również nowoczesnych metod przetwarzania i analizy sygnałów.

W celu dokładniejszej interpretacji wyników pomiarowych, do opisu sygnałów EA od WNZ wprowadzono analizę czasowo – częstotliwościową, która umożliwia wydobywanie z sygnału większej ilości informacji niż podczas interpretacji mierzonych sygnałów osobno w dziedzinie czasu i częstotliwości.

W ramach prac naukowo badawczych, których wyniki zaprezentowano w artykule, przeprowadzono analizę porównawczą sygnałów emisji akustycznej (EA) generowanej przez wyładowania niezupełne (WNZ) jedno- i wieloźródłowe. Badania przeprowadzono w układzie modelowym, w którym WNZ generowano za pomocą dwóch takich samych iskierników. W pracy zastosowano iskierniki w układzie powierzchniowym, ze względu na fakt, iż jest to najczęściej występująca forma WNZ w transformatorach elektroenergetycznych. Sygnały EA rejestrowano za pomocą przetwornika stykowego umieszczonego na zewnętrznej części kadzi. Zarówno dla sygnałów EA generowanej przez WNZ jednoźródłowe, jak również wieloźródłowe wykonano analizę częstotliwościową wykorzystując szybką transformatę Fouriera (FFT), oraz analizę w dziedzinie czasowo – częstotliwościowej z wykorzystaniem krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT). Wyniki analizy częstotliwościowej przedstawiono za pomocą widm gęstości mocy, natomiast rezultaty analizy czasowo – częstotliwościowej przedstawiono za pomocą spektrogramów. Analizując wyniki przeprowadzonych badań porównano zarejestrowane sygnały pod kątem możliwości identyfikowania form poszczególnych typów WNZ. Celem przeprowadzonych badań jest również potwierdzenie przydatności metody EA do diagnozowania stanu izolacji wysokonapięciowych urządzeń elektroenergetycznych, w których występują wyładowania wieloźródłowe.

Literatura

- [1] T. Bengtsson, K. Häkan, B. Jónssn, *Transformer PD Diagnosis Using AE Technique*, 10th Int. Symp. On High Vol. Eng. , Montreal, Quebec, Canada, 1997, pp. 73–79
- [2] T. Boczar, S. Borucki, A. Cichoń, M. Lorenc, *Zastosowanie analizy falkowej do opisu wyladowań niezupełnych generowanych w olejach izolacyjnych o różnych parametrach fizykochemicznych*, Jubileuszowe X Sympozjum “Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia”, Krynica, EUI 2005, Przegląd Elektrotechniczny, 1’2005, str. 26-29.
- [3] T. Boczar, S. Borucki, A. Cichoń, M. Lorenc, *Time – frequency analysis of theAE signals generated by PDs on bushing and stand-off insulators*, Archives of Acoustics, Vol. 31 No 4, 2006.
- [4] A. Dobrucki, *Podstawy akustyki*, Politechnika Wroclawska, Wrocław 1992.
- [5] Z. Engel, R. Panuszka, *Podstawy akustyki*, Wydawnictwo AGH, Kraków, 1989.
- [6] B. Gronowski, J. Ranachowski, J. Skubis, J. Zalewski, *Pomiary tłumienia emisji akustycznej od wyladowań elektrycznych w materiałach elektrolizacyjnych*, PAN, IPPT, 1986.
- [7] E. Grossman, K. Feser, *Online Pd-Monitoring on Transformers Using AE Techniques*, Int. Conf. APTADM’2001, Wrocław, 2001, pp. 264–268.

Porównawcze wzorcowania w polu swobodnym mikrofonów pomiarowych

*Comparative calibrations – in a free field – of measuring microphones*Grażyna Wszolek^{*}, Wiesław Barwicz^{**}^{*}AGH University of Science and Technology, Department of Mechanics and Vibroacoustics
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: wszolek@agh.edu.pl^{**}SVANTEK Sp.z o.o., Pl. Inwalidów 3/62, 01-514 Warszawa, E-mail: wbarwicz@svantek.com**1. Wprowadzenie**

Współpraca gospodarcza i handlowa we współczesnym świecie oraz porozumienie podpisane w 1999 r. zwane w skrócie MRA¹ dotyczące wzajemnego uznawania wzorców jednostek miar oraz świadectw wzorcowania, stwarzają potrzebę zapewnienia wiarygodnych i spójnych pomiarów. Zapewnienie spójności pomiarowej realizowane jest poprzez udział w kluczowych porównaniach międzynarodowych oraz porównaniach międzylaboratoryjnych. W porównaniach międzylaboratoryjnych rolę laboratoriów odniesienia pełnią laboratoria Głównego Urzędu Miar [1].

Tylko nieliczne laboratoria na świecie wykonują wzorcowania mikrofonów w polu swobodnym. W Polsce wzorcowania takie metodą porównawczą wykonywane są jedynie w Laboratorium Wibroakustyki Katedry mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej. Nie mając możliwości porównania swoich wyników z laboratorium odniesienia Głównego Urzędu Miar, wykorzystujemy do porównań wyniki wzorcowań przyrządów w laboratoriach zagranicznych. Obecnie nie ma normy dotyczącej porównawczej metody wzorcowania mikrofonów w polu swobodnym [2].

W artykule zawarto porównanie wyników wzorcowań mikrofonów w polu swobodnym uzyskanych w dwóch laboratoriach – w Laboratorium Physikalisch-Technische Bundesanstalt w Braunschweig (Niemcy) i Laboratorium Wibroakustyki AGH.

Przeprowadzone wzorcowania nie miały charakteru oficjalnych porównań międzylaboratoryjnych (ILC). Takie porównania w zakresie *Wzorcowania mikrofonów wzorcowych w polu swobodnym* dopiero są w przygotowaniu. Będą prowadzone przez CIMP (Comite International des Poids et Mesures).

2. Streszczenie artykułu

Artykuł zawiera porównanie wyników wzorcowań (wraz z niepewnością pomiarów) uzyskanych w dwóch laboratoriach (PTB i AGH) dla tych samych mikrofonów. Wzorcowano porównawczo dwa mikrofony; mikrofon typu 40 AE firmy GRAS i mikrofon typu 7052H firmy ACO Pacific, Inc. Wyniki wzorcowania mikrofonu 40 AE firmy GRAS odniesiono również do wyników podawanych przez producenta.

¹ MRA: Mutual Recognition Arrangement; *Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes*, International Committee for Weights and Measures

Wzorcowanie w laboratorium AGH przeprowadzono przy pomocy aparatury i metodyki pomiarowej opisanych w artykułach [3,4]. Dane dotyczące wzorcowania w PTB zaczerpnięto ze świadectw wzorcowania. Pomimo porozumienia MRA świadectwa te różnią się od świadectw wymaganych przez PCA. Np.: nie zawierają ważnej informacji dotyczącej spójności pomiarowej wyników wzorcowania czy stosowanych mikrofonów odniesienia. Zawarte w świadectwach PTB informacje świadczą o różnicach w metodyce wzorcowania w laboratoriach PTB i AGH, mających wpływ na wyniki pomiarów i jego niepewność. Laboratorium PTB nie korzysta z zaleceń zawartych w normach związanych z polem swobodnym PN-EN 61094-3 [2] oraz PN-EN 61672-2 [5]. Ocenę spójności pomiarowej uzyskanych wyników wykonano przy pomocy wskaźnika E_n - zgodnie z wytycznymi Polskiego Centrum Akredytacji zawartymi w dokumencie DA-05, dotyczącego porównań międzylaboratoryjnych w procesach akredytacji i nadzoru.

Podczas wzorcowań wykonywanych w AGH jako mikrofon wzorcowy odniesienia stosowano mikrofon firmy B&K typu 4191, który posiada dokładną kartę kalibracyjną wydaną przez producenta oraz świadectwo wzorcowania PTB. Obliczenia wskaźnika E_n prowadzono dla danych zawartych w świadectwie PTB i dla danych zawartych w karcie kalibracyjnej. Przy stosowaniu korekcy nierównomierności charakterystyki pola swobodnego tego mikrofonu podanych w świadectwie PTB uzyskane wyniki E_n nie dla wszystkich mierzonych częstotliwości były zadawalające. Natomiast przy zastosowaniu korekcy podanych przez B&K wyniki AGH uzyskały pełną zgodność z danymi mikrofonu podanymi przez firmę GRAS. Przy czym firma B&K dla mikrofonu 4191 deklaruje spójność pomiarową z Danish Primary Laboratory of Acoustics (DPLA) i National Institute of Standards and Technology (NIST,USA), a firma GRAS dla mikrofonu 40AE z National Physical Laboratory (NPL, UK).

W artykule autorzy zwrócili uwagę na problemy związane z porównaniem wyników wzorcowań uzyskiwanych w różnych laboratoriach. Problemy te związane są m.in. z brakiem normy oraz podstawowych danych w świadectwach wzorcowania dotyczących spójności pomiarowej, mikrofonów odniesienia, opisów metodyki pomiarowej i metodyki szacowania niepewności. Technika pomiarowa jak i szacowanie niepewności badań wymaga inwencji twórczej, wiedzy i doświadczenia badaczy – niemniej koniecznym jest zunifikowanie sposobów pomiarowych i metod szacowania niepewności oraz przeprowadzenie wzorcowań międzylaboratoryjnych.

Literatura

- [1] G.Wszolek, W.Batko. *Measurement Microphones Calibration by means of the NOR-1504A Calibration System (in Polish)*. Proceedings of XXXIV Winter School of Viboacoustic Hazards Control, Gliwice-Ustroń 27.02 - 3.03.2006, p.225 -230
- [2] PN-EN- 61094: *Measurement microphones –Part: 1,2,3,4,5,6*.
- [3] G.Wszolek, Z.Engel. *Investigations of Uncertainty of Acoustical Measuring Instruments Applied to Noise Control*. Archives of Acoustics, 29, 2, p. 283-295 (2004).
- [4] G.Wszolek, W.Barwicz, S.Duminov. *Automatic Measuring System for Acoustical Devices Calibration in the Free-Field*. Archives of Acoustics, Vol.31, No 4, 2006, p. 397-402.
- [5] PN-EN 61672-2:2005. *Electroacoustics – Sound level meters, Part 2: Pattern evaluation tests*.

HYDROAKUSTYKA



HYDROACOUSTICS

Modelowanie rozpraszania sygnałów wąsko i szerokopasmowych za pomocą losowo rozłożonych punktów rozpraszających

*Modeling of Narrow and Wideband Signals Scattering
by Randomly Distributed Scattering Points*

Andrzej Elminowicz, Leonard Zajęczkowski

*OBR Centrum Techniki Morskiej, ul. Dickmana 62, 81–109 Gdynia
e-mail: andrzeje@ctm.gdynia.pl*

1. Wprowadzenie

Przedstawione w artykule zagadnienie rozpraszania fali akustycznej w środowisku morskim jest ściśle powiązane z pracą mono-, bi- i multistatycznych systemów akustycznych w płytkich wodach. Odbiorniki tych systemów będą rejestrowały poza „właściwym” echem od celu, liczne niepożądane echa wtórne oraz rewerberacje od dna i powierzchni morza, co oznacza, że kluczowym zagadnieniem jest rozwiązanie problemu wyodrębnienia echa celu spośród wielu innych sygnałów. Można to wykonać stosując przetwarzanie korelacyjne właściwie dobranej sygnali sondującego oraz dobierając najkorzystniejszy, dla danego środowiska w określonym przedziale czasu, próg detekcji. Niniejsza praca dotyczy wyboru sygnali sondującego przy założeniu przetwarzania korelacyjnego. Na potrzeby analiz z tym związanych opracowano uproszczony model rozpraszania sygnałów na losowo rozłożonych punktach rozpraszających, a następnie wykonano symulacje rozpraszania sygnałów wąsko (CW) i szerokopasmowych (LFM i HFM) celem określenia najkorzystniejszego – z punktu widzenia detekcji – sygnali.

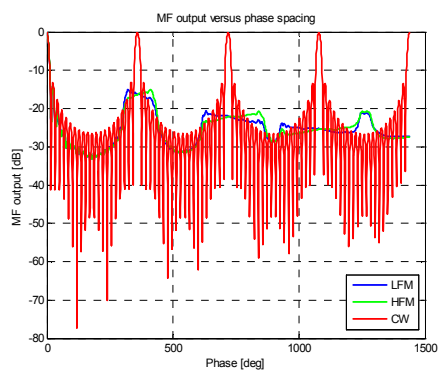
2. Model rozpraszania

Przyjęto uproszczony model rozpraszania bazujący na następujących założeniach:

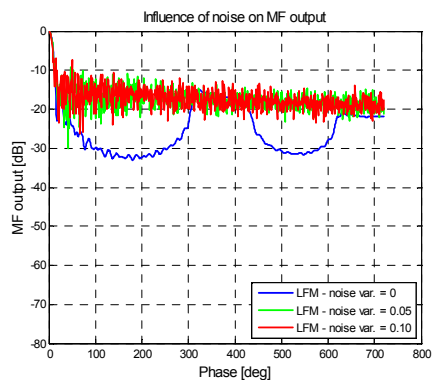
1. fala płaska, rozumiana jako zbiór promieni, pada pod określonym kątem na prostokątną powierzchnię której własności rozpraszające określa liczba, odbitych w kierunku odbiornika, promieni oraz ich amplituda,
2. odbite promienie sumują się w odbiorniku a następnie podlegają przetwarzaniu korelacyjnemu z wykorzystaniem replik sygnałów sondujących, które są impulsami prostokątnymi zmodulowanymi liniowo i hiperbolicznie (sygnałem porównawczym był impuls CW).

3. Wyniki symulacji rozpraszania

Przykładowe wyniki symulacji ilustrują dwa poniższe rysunki: rys. 1 model z równomiernie rozłożonymi punktami oraz rys. 2 – model z punktami rozłożonymi losowo:

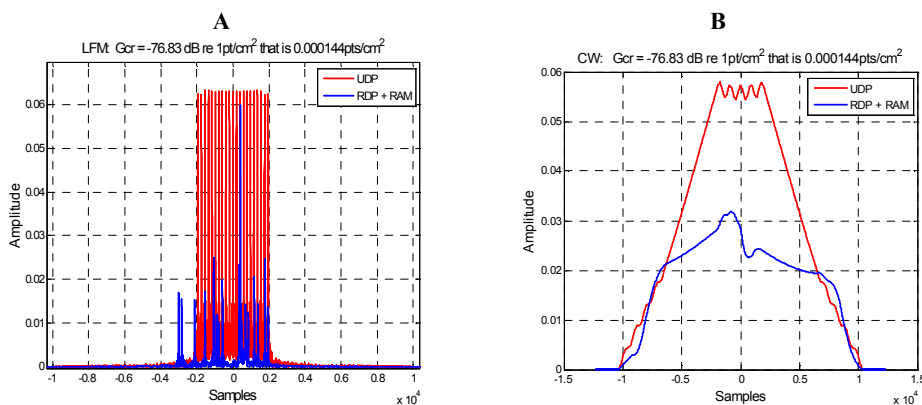


Rys.1 Sygnał na wyjściu MF w funkcji odstępu pomiędzy kolejnymi impulsami dla trzech typów sygnałów



Rys.2 Sygnał na wyjściu MF w funkcji odstępu pomiędzy kolejnymi impulsami dla trzech wariantów szumu

a także dwa poniższe rysunki (rys. 3 A i B) pokazujące symulację właściwości rozpraszających powierzchni zawierającej punkty rozłożone z gęstością 0.000144 pkt/cm².



Rys. 3 Symulacja powierzchni rozpraszającej: A – LFM, B – CW; kolor czerwony: punkty rozłożone równomiernie, kolor niebieski: punkty rozłożone losowe + losowa modulacja amplitudy

4. Wnioski

Z przeprowadzonych analiz wynika, że:

1. próg detekcji sygnałów LFM jest o ok. 5 dB niższy niż dla sygnałów CW co zmniejsza P_{FA} a tym samym zwiększa czułość detekcji dla sygnałów LFM/HFM,
2. wraz ze zmniejszaniem się gęstości rozmieszczenia centrów rozpraszania rośnie długość sygnału na wyjściu MF oraz zaczynają się pojawiać echa od poszczególnych punktów rozpraszających,
3. zastosowanie detekcji progowej oraz przetwarzania korelacyjnego umożliwia wyodrębnienie sygnału użytecznego z rewerberacji wynikających z rozpraszania na centrach.

Zastosowanie akustycznych metod odwrotnych w środowisku wodnym

Application of time reversal technique in shallow water environment

Sławomir Jastrzębski

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, ul. Kordeckiego 20, 85-792 Bydgoszcz
 e-mail: sj@utp.edu.pl

1. Wprowadzenie

Stosując koherentny system w komunikacji podwodnej należy poradzić sobie z interferencją międzysymbolową spowodowaną zmiennością czasową oraz dyspersją występującą w kanale hydroakustycznym w wodzie płytkiej. Obecnie akustyczne metody odwrotne odgrywają coraz większą rolę w akustycznej komunikacji podwodnej oraz komunikacji bezprzewodowej. Stosując akustyczną metodę odwrotną można uzyskać czasową i przestrzenną kompresję, która łagodzi zaniki sygnału w kanale hydroakustycznym, redukuje dyspersję spowodowaną przez taki kanał oraz zwiększa siłę sygnału. W związku z tym metodę tę można stosować w komunikacji podwodnej zwłaszcza w bardzo trudnym środowisku, w którym występuje silny efekt wielodrogowości, czyli rozchodzenia się sygnału po wielu ścieżkach, który to sygnał odbija się wielokrotnie od powierzchni oraz od dna kanału hydroakustycznego. Dużą zaletą stosowania akustycznych metod odwrotnych jest bardzo prosta budowa odbiornika w porównaniu z potrzebą stosowania złożonych odbiorników podczas stosowania metod adaptacyjnych. W artykule przedstawiono przede wszystkim metodę pasywną wykorzystywaną w komunikacji podwodnej z wykorzystaniem akustycznych metod odwrotnych.

2. Metoda pasywna

Dokładny opis akustycznych metod odwrotnych oraz metody pasywnej i aktywnej można znaleźć w artykułach [1], [2], [3]. Metoda pasywna w porównaniu z metodą aktywną wymaga tylko zestawu odbiorników, natomiast czasowo-przestrzenna filtracja dopasowana realizowana jest w sposób numeryczny w odbiornikach. W metodzie tej najpierw ze źródła PS emitowany jest w kanał sygnał o znanych parametrach:

$$g_0(t) = s(t) \quad (1)$$

Do odbiorników dociera zaszumiany sygnał w postaci:

$$r_i(t) = s(t) * h_i(t) \quad (2)$$

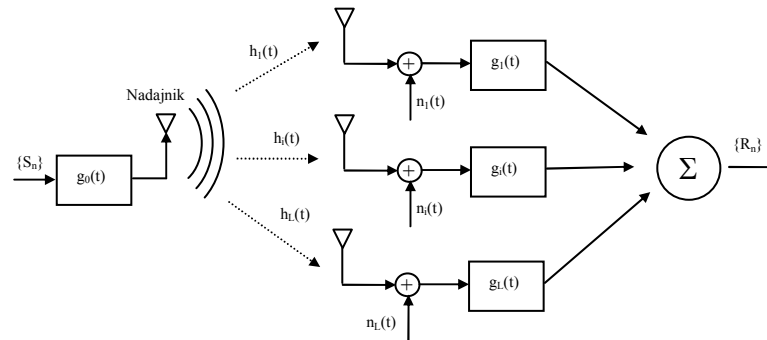
gdzie $h_i(t)$ jest odpowiedzią impulsową kanału.

Podczas gdy w metodzie aktywnej retransmitowana jest odwrócona wersja odebranego sygnału $r_i(-t)$ [4], w metodzie pasywnej zastosowana zostaje filtracja dopasowana w każdym odbiorniku:

$$y(t) = \sum_{i=1}^L r_i(t) * g_i(t) = s(t) * \left[\sum_{i=1}^L h_i(t) * h_i(-t) \right] = s(t) * q(t) \quad (3)$$

gdzie L jest liczbą odbiorników, $g_i(t) = h_i(-t)$, natomiast $q(t)$ oznacza funkcję będącą sumą

autokorelacji każdej odpowiedzi impulsowej kanału hydroakustycznego. Rysunek 1 przedstawia system komunikacji podwodnej z wykorzystaniem metody pasywnej.



Rys. 1. System komunikacyjny wykorzystujący pasywną akustyczną metodę odwrotną.

Zastosowanie metod odwrotnych w komunikacji zależy bardzo mocno od funkcji $q(t)$. W celu zminimalizowania interferencji międzysymbolowej należy dążyć do tego, aby funkcja $q(t)$ przyjmowała postać funkcji delta. Przeprowadzone symulacje numeryczne pozwalają stwierdzić, że akustyczna pasywna metoda odwrotna może być z powodzeniem wykorzystana w komunikacji podwodnej, jednakże jej możliwości ogniskujące zależą od złożoności kanału, tj. wielodrogowości, liczby L elementów odbiornika oraz ich przestrzennego rozkładu.

Literatura

- [1] A. B. Baggeroer, W.A. Kuperman, P.N. Mikhalevsky. *An Overview of Matched Field methods on Ocean Acoustics*. IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. **18**, no. 4, pp. 401-422 (1993).
- [2] W.A. Kuperman, W.S. Hodgkiss, H.C. Song, T. Akal, C. Ferla, and D.R. Jackson. *Phase conjugation in the ocean: Experimental demonstration of a time reversal mirror*. J. Acoust. Soc. Am. **103**, 25-40 (1998).
- [3] D. Rouseff, D.R. Jackson, W.L.J. Fox, C.D. Jones, A. Ritcey, D.R. Dowling. *Underwater Acoustic Communication by Passive-Phase Conjugation: Theory and Experimental Results*. IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. **26**, no. 4, pp. 821-830 (2001).
- [4] G.F. Edelmann, W.S. Hodgkiss, S. Kim, W.A. Kuperman, H.C. Song, and T. Akal. *Underwater acoustic communication using time reversal*. Proceedings Oceans 2001, Hawaii, pp. 2231-2235 (2001).

Formy zobrazowań w sonarze dalekiego zasięgu z cylindryczną anteną

*Visualisation Forms in Long Range Sonar with Cylindrical Transducer Array*Aleksandra Raganowicz, Lech Kilian, Jacek Marszał
Zawisza Ostrowski, Aleksander Schmidt, Krzysztof Zachariasz*Katedra Systemów Elektroniki Morskiej Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska, e-mail: ragola@eti.pg.gda.pl*

Referat jest kontynuacją tematyki organizacji zobrazowań we współczesnych systemach hydrolokacyjnych, przedstawionej trzykrotnie na poprzednich Seminariach. Tym razem dotyczy organizacji zobrazowań na monitorach zmodernizowanego w KSEM sonaru dalekiego zasięgu z podkiloną, cylindryczną anteną.

We wstępie referatu jest przedstawiona struktura zmodernizowanego sonaru a także opisane rodzaje emitowanych impulsów sondujących oraz sposoby przetwarzania sygnałów echa i sygnałów z biernego nasłuchu, traktowane jako czynniki decydujące o organizacji zobrazowań.

Modernizacja sonaru polegała na pozostawieniu w nie zmienionym stanie cylindrycznej anteny wraz z elektrohydraulicznym zespołem stabilizacji jej położenia w trakcie przechyłów okrętu oraz na wymianie wszystkich pozostałych zespołów sonaru.

Dookólna antena składa się ze stu pięćdziesięciu przetworników nadawczo – odbiorczych o częstotliwości rezonansowej ok. 9 kHz, rozmieszczonych na obwodzie cylindra o średnicy ok. 1m i podobnej wysokości, w trzydziestu pionowych kolumnach, z których każda zawiera pięć połączonych równolegle przetworników. Kształt i struktura anteny wraz z częstotliwością rezonansową przetworników (determinującą środkową częstotliwość impulsów sondujących) decydują o fizycznie możliwej do uzyskania, dwunastostopniowej szerokości wiązek w obu przekrojach przestrzeni.

Sonar generuje dookólnie dziesięciokilowatowe impulsy sondujące typu „chirp” (świergotowe) – z liniową modulacją częstotliwości w przedziale ok. 2 kHz wokół częstotliwości środkowej. Zachowano także możliwość generacji impulsów typu PING. Czas trwania impulsów można wybierać z przedziału 50 – 1600 ms.

Przy tym potencjale energetycznym (siła źródła to ok. 96 dB) i niskiej częstotliwości nośnej sygnałów sondujących jako maksymalny zasięg sonaru przyjęto 32 km w sześciu podzakresach. Minimalny podzakres, warunkowany rozległością strefy martwej wokół anteny, powstającej podczas transmisji długich impulsów sondujących, to 1 km.

Po stronie odbiorczej sygnały echa z każdej kolumn są wstępnie poddawane zwykłej obróbce – wstępnemu wzmocnieniu, filtracji pasmowej, zasięgowym regulacjom wzmocnienia o różnych charakterystykach i ręcznej regulacji wzmocnienia. Po tych operacjach następuje przetworzenie sygnałów na postać cyfrową z próbkowaniem drugiego i realizowany jest beamforming w dziedzinie częstotliwości. W efekcie na wyjściu beamformera wytwarzane jest 90 czterostopniowych wiązek odbiorczych o zredukowanym poziomie listków bocznych. Sygnały świergotowe z każdej z nich poddawane są cyfrowej filtracji

dopasowanej w dziedzinie czasu, zaś sygnały typu „ping” – detekcji obwiedni z cyfrową filtracją dolnoprasmową. Operacje wykonywane są w wyspecjalizowanych układach DSP współpracujących ze zbiorczym komputerem przetwarzania sygnałów echa.

Sonar pracuje także w reżimie pasywnym prowadząc nasłuch sygnałów akustycznych emitowanych przez obiekty podwodne i nawodne w dwukilohercowym paśmie częstotliwości wokół częstotliwości środkowej reżimu aktywnego, bowiem odbiór i przetwarzanie sygnałów akustycznych odbywa się w tych samych układach i według identycznych metod jak sygnałów echa, aż do wyjść wielowiązkowego filtra przestrzennego.

Ze względu na nadmiar próbek sygnałów echa w stosunku do możliwości ich ekspozycji na monitorach z odpowiednich liczb próbek wybierane są próbki maksymalne.

Sonar współpracuje z zewnętrznymi systemami okrętowymi. Współpraca z żyrohoryzontem jest niezbędna do wypracowywania sygnałów sterujących dla zespołu stabilizacji położenia anteny. Współpraca z logiem, żyrokomпасem i odbiornikiem GPS zapewnia dysponowanie danymi nawigacyjnymi niezbędnymi dla orientacji zobrazowań na monitorach, do procesu śledzenia ruchu wykrywanych obiektów podwodnych i sytuowania danych o tych obiektach na okrętowej mapie elektronicznej. Z radaru ARPA pobierane są dane o położeniu obiektów nawodnych, sytuowanych potem na zobrazowaniach sonarowych w celu wykluczenia ważności ewentualnych ech od tych obiektów. Współpraca z miernikiem rozkładów prędkości dźwięku w przeszukiwanym akwenie daje natomiast operatorom możliwość oceny przestrzennych warunków detekcji sonaru w zależności od istniejących warunków hydrologicznych.

Zobrazowania sonaru zorganizowano na czterech monitorach umieszczonych w dwóch konsolach operatorów. Na dostępnych przez klawiatury komputerach zobrazowania oraz na komputerze przetwarzania sygnałów zainstalowane zostały optymalne dla wymaganych operacji systemy operacyjne Windows XP. System ten został wybrany przede wszystkim dlatego, że ma dobre rozwiązania graficzne, łatwość dołączania i wykrywania zewnętrznych urządzeń, ale także z tego powodu, że jest on najbardziej rozpowszechniony na komputerach osobistych i w związku z tym obsługa sonaru jest przyjazna dla operatora.

Na każdym z czterech ekranów można wywołać jeden z dostępnych typów zobrazowań i wykonywać na nim operacje powiększania, stawiania markerów, śledzenia obiektów itp. Jeden z operatorów może zatem np. dokonywać operacji wykrywania celów, drugi – śledzenia wybranych obiektów. Konieczność takiej swobody wyboru zobrazowań i niezależnego wykonywania na nich różnych operacji a z drugiej strony dostępne struktury sprzętowe narzuciły specyficzną organizację komunikacji między komputerami obsługującymi zobrazowania, komputerami sterującymi pracą nadajnika i odbiornika, dostarczającym przetworzone sygnały echa, sygnały nawigacyjne i komunikacji z systemami zewnętrznymi. Organizacja, wykorzystująca trzy sposoby komunikacji, jest przedstawiona na schemacie blokowym ukazującym wzajemne połączenia po łączach RS, sieciowych (ethernetowych) oraz po magistrali VME.

Na kolejnych rysunkach są przedstawione, wraz z krótkimi komentarzami, dostępne formy zobrazowań: panoramiczne, typu B i A wraz z przykładem śledzenia obiektu dla aktywnego reżimu pracy sonaru oraz zobrazowanie typu „wodospad” dla reżimu pasywnego.

PSYCHOAKUSTYKA



PSYCHOACOUSTICS

Badanie percepcji sygnału mowy zniekształconej przez wokoder i charakterystykę pogłosową pomieszczenia

*Perceptual consequences of change in vocoded speech parameters
for various reverberation conditions*

Szymon Drgas, Magdalena A. Błaszak

Institut Akustyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań

E-mail: szymon.drgas@amu.edu.pl

1. Wprowadzenie

Sygnały mowy charakteryzują się wysoką redundancją. Jedną z możliwości oszacowania nadmiaru informacji niesionej przez dźwięk mowy jest wyeliminowanie lub zaburzenie pewnych jego cech i przez to określenie ich wpływu na zrozumiałość mowy lub „łatwość słuchania”. Te cechy sygnału, których usunięcie nie przynosi zauważalnego pogorszenia zrozumiałości mowy, mogą mieć natomiast znaczenie w przypadku prezentowania zniekształconej mowy w obecności tła akustycznego o dużym poziomie lub w warunkach pogłosowych. Określenie tych cech może mieć istotny wpływ na rozwój metod kodowania tego typu sygnałów oraz polepszania algorytmów przetwarzania mowy mających zastosowanie między innymi w aparatach słuchowych. Tak więc, w celu określenia istotnych cech sygnału mowy, które zapewniają zrozumiałość w niekorzystnych warunkach akustycznych, bada się zrozumiałość (zdaniową, wyrazową lub logatomową) poddając mowę różnego rodzaju degradacjom.

Przez długi okres czasu zajmowano się wpływem poszczególnych cech *spektralnych* charakteryzujących sygnał mowy na jego percepcję (zarówno subiektywną zrozumiałość jak i „łatwość słuchania”). Jednakże w ostatnim czasie coraz częściej bada się wpływ *czasowych* aspektów sygnału mowy. Eksperymenty przeprowadzone przez Shannona (1995) pokazały, że *fonetyczna* informacja zawarta jest w obwiedni amplitudowej. W badaniach tych znaczną wartość zrozumiałości uzyskano dla czterech pasm szumu zmodulowanych obwiednią wyodrębnioną z sygnału mowy naturalnej. Późniejsze badania przeprowadzone przez Zenga i in. (2005) dowiodły, że cztery pasma zmodulowanego szumu zapewniają dużą zrozumiałość jedynie w dobrych warunkach akustycznych i dla krótkich, prostych zdań. Okazało się, że w obecności zakłóceń zrozumiałość ta w dużym stopniu ulega pogorszeniu. Zeng badał to zagadnienie wykorzystując wokoder, w którym poza obwiednią amplitudową dostarczana była w podpasmach zdegradowana reprezentacja struktury subtelnej sygnału. W każdym podpaśmie wyodrębniany był przebieg częstotliwości chwilowej, a następnie przebieg ten filtrowany był dolnoprzepustowo. Eksperymenty Zenga pokazały, że wolnozmiennie modulacje częstotliwościowe zapewniają poprawę zrozumiałości mowy właśnie w obecności zakłóceń addytywnych.

2. Cel pracy

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu zdegradowanej struktury subtelnej na percepcję mowy w warunkach pogłosowych oraz wyznaczenie tych cech sygnału, które zapewnią dobrą odporność mowy na zniekształcenia spłotowe (pogłos). Testowanym w eksperymencie materiałem dźwiękowym były logatomy. Stu elementowe listy przetworzone zostały za pomocą dwóch wokoderów: sześć- i dwunastopasmowego. Logatomy analizowane były za pomocą zestawu filtrów pasmowoprzepustowych a następnie w każdym z podpasm wyodrębniono obwiednię amplitudową i przebieg częstotliwości chwilowej. Sygnały testowe uzyskano przez modulowanie sygnałów sinusoidalnych zarówno amplitudowo i częstotliwościowo. Sygnałami modulującymi były: obwiednia amplitudowa i przebieg częstotliwości chwilowej, poddane wcześniej filtracji dolnoprzepustowej. Zastosowano dwie częstotliwości odcięcia filtru którym przetwarzano przebiegi częstotliwości chwilowej: 50 i 400 Hz. Pomiarów przeprowadzono również dla przypadku, gdy sygnał nośny nie był zmodulowany częstotliwościowo. Tak przetworzona mowa zarejestrowana została za pomocą sztucznej głowy w pomieszczeniach o różnych charakterystykach pogłosowych: w pomieszczeniu o czasie pogłosu większym ($T_{500\text{Hz}}=1.1$ s, $T_{2000\text{Hz}}=1.0$ s) i mniejszym ($T_{500\text{Hz}}=0.6$ s, $T_{2000\text{Hz}}=0.7$ s) oraz w kabinie bezehowej.

Przygotowane sygnały prezentowane były sześciu słuchaczom. Zbadany został zarówno wpływ poszczególnych parametrów wokoderów jak i pomieszczeń na zrozumiałość mowy i subiektywną ocenę trudności słuchania wyznaczaną przy pomocy dwóch alternatywnych metod: dziesięciostopniowego skalowania (1-10) oraz pomiaru czasu reakcji (opóźnienia odpowiedzi).

3. Wnioski

Wyniki pomiarów pokazały, że modulacja częstotliwościowa sygnałów nośnych w wokoderze ma istotny wpływ na zrozumiałość mowy zniekształconej przez pogłos. Zaobserwowano także wzrost „łatwości słuchania” przy braku pogłosu dla wokodera z modulacją częstotliwościową.

Literatura

- [1] S. Brachmański, P. Staroniewicz. *Phonetic structure of a test material used in subjective measurements of speech quality* (in Polish), *Speech and Language Technology*. 3 (1999), 71-80.
- [2] K. B. Nie, G. S. Stickney, F.-G. Zeng. *Encoding frequency modulation to improve cochlear implant performance in noise*, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 52(1) (2005), 64-73.
- [3] R. V. Shannon, F-G. Zeng, V. Kamath, J. Wygonski, and M. Ekelid. *Speech recognition with primarily temporal cues*, *Science*. 270 (1995), 303-304.
- [4] G. S. Stickney, K. Nie, and F.-G. Zeng. *Contribution of frequency modulation to speech recognition in noise*, *J. Acoust. Soc. Am.* 118, (2005).
- [5] Z. M. Smith, B. Delgutte, A. O. Oxenham. *Chimaeric sounds reveal dichotomies in auditory perception*, *Nature* 416 (2002), 87-90.
- [6] F.-G. Zeng, K.B. Nie, G. S. Stickney, Y.-Y. Kong, M. Vongphoe, A. Bhargave, C. G. Wei, K. Cao, *Speech recognition with amplitude and frequency modulations. Proceedings of the National Academy of Science*, 102 (2005), 2293-2298.

Wpływ statystycznych właściwości sygnału zaburzającego na maskowanie modulacji amplitudowej

Modulation masking phenomenon for masking signals of different statistical and spectral properties

Dariusz J. Kutzner

*Uniwersytet Adama Mickiewicza, Instytut Akustyki, Zakład Akustyki Pomieszczeń i Psychoakustyki
ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań, E-mail: konsbol@wp.pl*

1. Wprowadzenie

W ogólnym przypadku sygnały akustyczne charakteryzują dwa rodzaje zmienności, mianowicie zmiany wartości chwilowej sygnału, będące warunkiem *sine que non* zaistnienia wrażenia dźwiękowego oraz czasowe zmiany parametrów sygnału, np. amplitudy lub/i częstotliwości. Zmiany te określa się mianem modulacji amplitudowej (AM) lub częstotliwościowej (FM) i są one zasadniczym nośnikiem informacji zakodowanej w dźwięku, mając jednocześnie kardynalne znaczenie dla percepcji wielu naturalnych sygnałów, np. mowy. Można więc powiedzieć, że obwiednia amplitudowa dźwięku jest swoistym sygnałem odzwierciedlonym w sygnale oraz założyć, że jest ona w odpowiedni sposób przetwarzana oraz analizowana we wyspecjalizowanych ośrodkach układu słuchowego.

Jednym z najpopularniejszych modeli percepcji sygnałów AM jest koncepcja filtrów modulacyjnych (*ang. modulation filterbank, MFB*) postulująca, że obwiednia sygnału akustycznego jest na wyższych piętrach drogi słuchowej analizowana w układzie szeregowo połączonych filtrów pasmowo-przepustowych funkcjonujących analogicznie do filtrów słuchowych, ale w dziedzinie szybkości zmian obwiedni [1-3]. Głównym zadaniem hipotetycznych filtrów modulacyjnych jest analiza składu spektralnego obwiedni sygnałów pojawiających się na wyjściach filtrów słuchowych. Słuszności tej koncepcji dowodzą wyniki badań neurofizjologicznych, które wykazały, że niektóre neurony w obrębie wzgórka dolnego blaszki czworaczej (*inferior colliculus*) przejawiają właściwości selektywne w dziedzinie częstotliwości modulacji [4]. Przeprowadzono również wiele eksperymentów psychofizycznych, których wyniki wskazują na istnienie swoistych pasm krytycznych słuchu w dziedzinie szybkości zmian obwiedni. Doświadczenia te najczęściej dotyczyły efektu maskowania modulacji amplitudowej, czyli zjawiska psychofizycznego, w przypadku którego percepcja czasowych zmian amplitudy sygnału (tzw. modulacji próbnej) może być zaburzona w wyniku jednoczesnej prezentacji drugiego sygnału modulującego, zwanego maskerem modulującym. Wyniki tychże pomiarów jednoznacznie wykazują, że słyszalność modulacji próbnej maleje, tzn. efektywność maskowania modulacji amplitudowej rośnie, wraz ze zmniejszaniem separacji spektralnej modulującego sygnału maskowanego oraz maskującego w dziedzinie częstotliwości modulacji [1-3,5,6].

2. Cel pracy

W niniejszej pracy efekt maskowania modulacji amplitudowej rozważono w aspekcie sygnałów modulujących o różnych charakterystykach widmowych oraz probabilistycznych. Inspiracją pomiarów były wcześniejsze doświadczenia, w których wykazano, że maskowanie modulacji jest zdeterminowane przez widmo gęstości mocy maskera, jednocześnie nie zależąc od jego właściwości czasowych, np. częstotliwości repetycji reprezentacji czasowej. W niniejszych pomiarach zastosowano 3 modulujące sygnały maskujące: 1) szum gaussowski o szerokości widma 32 Hz (GN 32Hz), 2) szum *low-noise noise* o szerokości 32 Hz (LNN 32Hz) oraz 3) szum *low-noise noise* o szerokości spektralnej 4Hz (LNN 4Hz). Częstotliwość środkowa wszystkich pasm wynosiła 16 Hz. Wartość *rms* tych sygnałów normalizowano do 0.2. Pomiarzy przeprowadzono z wykorzystaniem procedury adaptacyjnej 3AFC z regułą decyzyjną 3-down/1-up.

3. Rezultaty

Wyniki doświadczenia wykazały, że maskowanie modulacji jest głównie zdeterminowane przez widmo mocy maskera, tzn. funkcja maskowania otrzymana dla LNN 4Hz jest znacząco różna od funkcji wyznaczonych dla GN 32Hz i LNN 32Hz. Niemniej jednak, stwierdzono również pewien wpływ właściwości statystycznych maskera na funkcje maskowania, które jest 1-3 dB mniejsze w przypadku GN 32Hz niż dla LNN 32Hz. Różnice te najprawdopodobniej związane z nieliniowymi procesami zachodzącymi w obrębie peryferyjnego układu słuchowego. Ponieważ współczynnik szczytu dla szumu gaussowskiego $C \approx 4$, tzn. jest większy niż LNN $C \approx 1.7$, stosunkowo duże wartości chwilowe gaussowskiego sygnału nośnego były prawdopodobnie poddawanej pewnej kompresji na poziomie ślimaka, czego konsekwencją był spadek wartości *rms* charakteryzującej wewnętrzną (neuronową) reprezentację sygnału maskującego oraz mniejsza efektywność maskowania modulacji, niż w przypadku sygnału LNN.

Literatura

- [1.] Dau, T., B. Kollmeier and A. Kohlrausch, *Modeling auditory processing of amplitude modulation. I. Detection and masking with narrow-band carriers*. J. Acoust. Soc. Am, 1997. **102**(5): p. 2892-2905.
- [2.] Dau, T., B. Kollmeier and A. Kohlrausch, *Modeling auditory processing of amplitude modulation. II. Spectral and temporal integration*. J. Acoust. Soc. Am, 1997. **102**(5): p. 2906-2919.
- [3.] Sęk, A. and B.C.J. Moore, *Testing the concept of a modulation filter bank: The audibility of component modulation and detection of phase change in three-component modulators*. J. Acoust. Soc. Am, 2003. **113**(5): p. 2803-2811.
- [4.] Joris, P.X., C.E. Schreiner and A. Rees, *Neural processing of Amplitude-Modulated Sounds*. Physiological Reviews, 2004. **84**: p. 541-577.
- [5.] Lemańska, J., A. Sęk, and W. Rybicka, *Masking in the amplitude modulation rate domain*. Archives of Acoustics, 2003. **28**(3): p. 151-159.
- [6.] Bacon, S.P. and D.W. Grantham, *Modulation masking: effects of modulation frequency, depth and phase*. J. Acoust. Soc. Am., 1989. **85**: p. 2575-2580.

Efektywność ślepej separacji sygnałów w rzeczywistym pomieszczeniu

Efficiency of blind source separation in a real room

Paweł Libiszewski, Jędrzej Kociński

*Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Fizyki, Instytut Akustyki
ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań, E-mail: jedrzej.kocinski@amu.edu.pl***1. Wprowadzenie**

Komunikacja werbalna jest podstawową formą kontaktów międzyludzkich. Jej pozamerytoryczna jakość zdeterminowana jest fizjologicznym stanem narządów mowy i słuchu rozmówców, a także ich predyspozycją psychiczną. Z akustycznego punktu widzenia są to czynniki odpowiadające za poprawność generacji i percepcji mowy. Niemniej istotne jest środowisko, w jakim przebiega rozmowa. Poprawnie wypowiedziane słowa mogą zostać nieprawidłowo usłyszane nawet przez normalnie słyszającego człowieka, gdy w otoczeniu będzie duży hałas lub jednocześnie będzie mówiło kilka osób. Nieistotne dla słuchacza źródła dźwięku wraz z negatywnym wpływem odbić fal akustycznych, które występują w przestrzeni zamkniętej, stanowią zakłócenia maskujące mowę. Pobudzone przez te sygnały komórki rzęsaty receptora nie przetwarzają w sposób efektywny, czasem dużo mniej intensywnych, bodźców akustycznych związanych z interesującym słuchacza komunikatem słownym, przez co utrudnione jest odtworzenie informacji w nim zawartych w ośrodkach kojarzeniowych centralnego układu nerwowego.

Obecnie wysoko zaawansowana technika cyfrowego przetwarzania sygnałów akustycznych umożliwia stosowanie wielu algorytmów poprawiających zrozumiałość mowy w procesorach sygnałowych aparatów słuchowych. Powszechnie znane są filtry odsumiające czy metody filtracji przestrzennej (ang. *beamforming*). Do najnowszych osiągnięć należą algorytmy Ślepej Separacji Sygnałów (ang. *Blind Source Separation, BSS*). Jest to statystyczna metoda estymacji fal generowanych przez poszczególne źródła wykorzystująca jedynie superpozycje wszystkich sygnałów źródłowych rejestrowane przy użyciu matrycy mikrofonów. Najistotniejszym i niemalże jedynym założeniem ograniczającym ich zastosowanie jest statystyczna niezależność źródeł, a główną wadą separacja sygnałów w liczbie odpowiadającej liczbie użytych sensorów. Model, na którym opierają się algorytmy BSS, oprócz wymienionej superpozycji sygnałów źródłowych, ważonych głównie ze względu na odległości poszczególnych mikrofonów od źródeł, uwzględnia także odbicia fal akustycznych od powierzchni ograniczających pomieszczenie w postaci filtrów odzwierciedlających odpowiedź impulsową danej przestrzeni. Dzięki temu algorytmy te eliminują także niekorzystny wpływ pogłosu na zrozumiałość mowy.

Mimo stosunkowo nowej idei metod BSS powstało wiele prac dotyczących wprowadzanego przez nie wzrostu stosunku sygnału użytecznego do szumu lub ogólnie zakłóceń (SNR) [1-5]. Nie zawsze jednak poprawa ta przekłada się na lepszą zrozumiałość mowy. Statystyczna estymacja sygnałów, jakiej dokonują te algorytmy, może prowadzić między innymi do efektu rozmycia kontrastu widmowego skutkującego obniżeniem jakości

komunikacji słownej. Dlatego niezwykle istotna wydaje się być ocena efektywności BSS w kontekście właśnie subiektywnej zrozumiałości mowy, której poświęcone są te badania.

Przeprowadzone eksperymenty opierają się głównie na algorytmie Parry i Spence'a [2], którego działaniu poddane zostały nagrania dokonane w rzeczywistych warunkach akustycznych (pomieszczeniu biurowym). Materiał testowy stanowił Polski Test Zdaniowy [6] rejestrowany na tle różnych zakłóceń zarówno o charakterze stacjonarnym (szum mowopodobny) jak i niestacjonarnym (muzyka, konkurencyjna mowa). Wyznaczany w klasycznym eksperymencie psychoakustycznym (metodą adaptacyjną) próg rozumienia mowy (SRT), czyli wartość SNR sygnałów rejestrowanych przez mikrofony, dla której zrozumiałość zdaniowa wynosi 50%, wydaje się dawać pełniejszy obraz faktycznego efektu działania algorytmu. Z tego względu w eksperymentach wyznaczano SRT przed i po zastosowaniu BSS. Pośredni cel pracy to także ocena efektywności wyznaczonych filtrów w zależności od ich długości. Ta część badań umożliwia odniesienie rezultatów do analogicznych eksperymentów dokonanych w kabinie bezekhowej [7, 8] i pozwala ocenić wpływ właściwości akustycznych pomieszczenia na skuteczność algorytmu.

Uzyskanym w badaniach efektem działania algorytmu jest obniżenie SRT nawet o kilkanaście dB w przypadku poszczególnych zakłóceń. Oznacza to bardzo znaczący wzrost zrozumiałości mowy, zachęcający do dalszych badań. Wyniki eksperymentów wykazują także zależność od zadanych algorytmowi parametrów. Skuteczność metody wzrasta, gdy filtry separujące mają długość zbliżoną do długości odpowiedzi impulsowej pomieszczenia.

Literatura

- [1] Belouchrani, A. i M.G. Amin. *A new approach for blind source separation using time-frequency distributions*. in *Proc. SPIE*. 1996.
- [2] Parra, L. i C. Spence, *Convolutional blind source separation of non-stationary sources*. *US Patent US6167417*. *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, 2000. **8**(3): p. 320-327.
- [3] Pham, D.-T., C. Serviere i H. Boumaraf. *Blind separation of convolutive audio mixtures using nonstationarity*. in *ICA 2003*. 2003. Nara, Japan.
- [4] Reyes-Gomez, M.J., B. Raj i D. Ellis, P. D., *Multi-Channel Source Separation by Beamforming Trained with Factorial HMMS*. Mitsubishi Electric Research Laboratories, 2004.
- [5] Amin, M.G. i Y. Zhang, *Blind Separation of Nonstationary Sources Based on Spatial Time-Frequency Distributions*. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2006.
- [6] Ozimek, E., D. Kutzner, A.P. Sęk, A. Wicher i O. Szczepaniak, *The Polish Sentence Test for Speech Intelligibility Measurements*. *Archives of Acoustics*, 2006. **31**(4 Supplement).
- [7] Kocinski, J., *Influence of Blind Source Separation on speech intelligibility*. *Archives of Acoustics*, 2005. **30**(4 Supplement): p. 147–150.
- [8] Kocinski, J. *Blind Source Separation (BSS) of sound sources*. in *ForumAcusticum 2005*. 2005. Budapest.

Akustyczny model głowy do numerycznego wyznaczania HRTF

Acoustical model of the head for HRTF calculation

Przemysław Plaskota

*Institut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Politechnika Wroclawska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: przemyslaw.plaskota@pwr.wroc.pl*

W ostatnim czasie rozpowszechniły się systemy dźwięku dookólnego. Efekt „otaczania” słuchacza dźwiękiem uzyskuje się poprzez wykorzystanie zjawisk akustycznych mających wpływ na lokalizację źródła dźwięku. Podobnie jak w systemie stereofonii, wykorzystywane są zależności czasowe, natężeniowe i fazowe sygnałów docierających z poszczególnych źródeł dźwięku, a także uwzględnia się wpływ układu akustycznego tworzonego przez małżowinę uszną, głowę i tors na charakterystykę częstotliwościową dźwięku [1]. Wpływ ten opisuje się za pomocą funkcji transmitancji odniesionej do głowy (ang. Head-Related Transfer Function, HRTF).

Jak dotychczas najlepszym sposobem uwzględnienia wpływów ciała ludzkiego na charakterystykę częstotliwościową dźwięku jest zmierzenie HRTF dla różnych położeń źródła dźwięku względem słuchacza [2]. Następnie buduje się bazę danych zawierającą wyniki pomiarów, która wykorzystywana jest przy reprodukcji dźwięku. Każdy człowiek charakteryzuje się indywidualnymi cechami budowy ciała, dlatego nie jest możliwe zbudowanie uniwersalnej bazy dla wszystkich słuchaczy. Aby możliwe było uwzględnienie tych parametrów konieczne jest wykonanie pomiarów dla każdego człowieka [3].

W pracy przedstawiono numeryczny model głowy człowieka. Model taki umożliwia wyznaczenie wartości funkcji transmitancji odniesionych do głowy bez konieczności wykonywania pomiarów [4]. Model uwzględnia zarówno geometryczne, jak i akustyczne parametry głowy. Model umożliwia przeprowadzenie obliczeń numerycznych obrazujących wpływ głowy ludzkiej na parametry dźwięku.

Proces budowania modelu geometrycznego głowy podzielono na dwie części. Część pierwsza obejmuje odwzorowanie głowy bez małżowin usznych, w części drugiej przedstawiono sposób odwzorowania skomplikowanej geometrii małżowiny usznej. Istnieje kilka sposobów digitalizacji obiektów rzeczywistych [5]. Podczas tworzenia modelu głowy wykorzystano przestrzenny skaner powierzchni z głowicą dotykową. Przedstawiono szczegółowo procedurę tworzenia modelu głowy.

Przy tworzeniu geometrycznego modelu ucha nie jest możliwe wykorzystanie. Fakt ten wynika przede wszystkim z powodu skomplikowanego kształtu małżowiny usznej. Drobne zagłębienia uniemożliwiają zastosowanie głowicy dotykowej przestrzennego skanera powierzchni. Z kolei przeszkodą w zastosowaniu głowicy laserowej z jednej strony jest niewystarczająca wartość współczynnika odbicia, z drugiej strony promień lasera nie dociera do powierzchni umieszczonych pod innymi powierzchniami. Problemem są też tzw. kąty ujemne, czyli zagłębienia w powierzchni. Aby możliwe było odwzorowanie geometrycznego kształtu małżowiny usznej konieczne jest zastosowanie skanowania przekrojów małżowiny, a następnie na podstawie przekrojów budowanie modelu prze-

strzennego.

Kolejnym przedstawionym w pracy parametrem jest impedancja akustyczna powierzchni materiału, z którego wykonano fantom głowy KU 100. Pomiar wykonano metodą wykorzystującą współczynnik fali stojącej [6, 7]. Aby wykonać pomiar konieczne jest posiadanie próbki materiału o kształcie pozwalającym na umieszczenie w uchwycie przeznaczonym na próbki. Jednak jedyną próbką dostępną w trakcie pomiarów jest próbka będąca częścią urządzenia. Pomiar wykonano w ten sposób, że do krawędzi rury impedancyjnej przyłożono płaski fragment urządzenia. Pomiar wykonano z wykorzystaniem rury impedancji o średnicy 30 mm, dla częstotliwości w zakresie od 800 Hz do 6300 Hz, w pasmach 1/3 – oktaowych.

Literatura

- [1] P. Plaskota, A.B. Dobrucki, *Wirtualizacja przestrzeni dźwiękowej z wykorzystaniem HRTF*, W: Reżyseria i inżynieria dźwięku i obrazu. ISSET 2005, Międzynarodowe Sympozjum AES, Kraków, 23-25 czerwca 2005
- [2] C.I. Cheng, G.H. Wakefield, *Introduction to head-related transfer functions (HRTFs): Representations of HRTFs in time, frequency, and space*, J. Audio Eng. Soc., **49** (4), pp. 231-249, 2001
- [3] P. Plaskota, A.B. Dobrucki, *Wybrane zagadnienia pomiarów HRTF*, W: Metrologia w procesie poznania, Kongres Metrologii, Wrocław, 6-9.09.2004
- [4] P. Plaskota, A.B. Dobrucki, *Numerical head model to HRTF simulation*, W: The 118th Convention AES, Barcelona, Spain, May 28-31, 2005, Preprint 6510
- [5] E. Chlebus, B. Dybała, T. Boratyński: *Metody pomiarów makrogeometrii powierzchni swobodnych w digitalizacji obiektów fizycznych*, W: Metrologia w procesie poznania. Kongres Metrologii. Wrocław, 6-9.09.2004
- [6] B.F.G. Katz, *Acoustic absorption measurement of human hair and skin within the audible frequency range*, J. Acoust. Soc. Am., **108** (5), Pt. 1, pp. 2238-2242, 2000
- [7] PN-EN ISO 10534-2:2003 *Akustyka – Określanie współczynnika pochłaniania dźwięku i impedancji akustycznej – Część 2: Metoda funkcji przejścia*, PKN, Warszawa 2003

Implementacja szybkiej metody wyznaczania psychofizycznych krzywych
strojenia (FAST-PTC) na komputerze klasy PC*Implementation of the FAST-PTC measurement method on a PC platform*

Michał Ruszczyński, Aleksander Sęk

*Instytut Akustyki, Uniwersytet Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań
E-mail: zeta.reticuli.2@gmail.com, olekseks@amu.edu.pl*

Jednym z możliwych ubytków słuchu typu ślimakowego jest tzw. martwy obszar (*Dead Region*, DR) [1]. Pod tym pojęciem rozumieć należy obszar błony podstawnej, w którym wewnętrzne komórki rzęsaty (lub neurony do nich dochodzące) nie funkcjonują, i w którym nie dochodzi do przetwarzania drgań błony podstawnej na impulsy czynnościowe. Dlatego też informacja o dźwięku, którego składowe przypadają na ten obszar, nie jest transmitowana na wyższe piętra układu słuchowego.

Obszar martwy definiuje się za pomocą częstotliwości charakterystycznych wewnętrznych komórek rzęsatych lub neuronów przylegających do tego obszaru [1] a diagnostyka tych obszarów, a właściwie ich częstotliwościowych granic, jest niezwykle istotna w kontekście dopasowania aparatu słuchowego: wzmacnianie sygnałów przypadających na martwy obszar, prowadzi do pogorszenia zrozumiałości mowy [2]. Dlatego też diagnozowanie tych obszarów, a w szczególności określenie ich lokalizacji w dziedzinie częstotliwości ma zasadnicze znaczenie dla dopasowania aparatu słuchowego.

Z uwagi na zjawisko *off-frequency listening* diagnoza DR za pomocą badania audiometrycznego jest niemożliwa, choć audiogram może sugerować istnienie takich obszarów. Ton, którego częstotliwość przypada na DR, może być słyszany w oparciu o drgania błony podstawnej w miejscach sąsiadujących z martwym obszarem.

Jedną z metod diagnozowania DR jest metoda oparta o pomiar progu detekcji tonu maskowanego szumem zrównującym próg (*threshold-equalising noise*, TEN) [3]. Dla tonu przypadającego na DR, próg jego detekcji w obecności szumu TEN jest znacznie wyższy (powyżej 10 dB) od poziomu TENa. Metoda ta nie pozwala jednak na precyzyjne określenie częstotliwościowych granic martwego obszaru.

Wyznaczenie częstotliwościowych granic DR umożliwia pomiar psychofizycznej krzywej strojenia (*Psychophysical Tuning Curve*, PTC), [4,5]. Metoda ta polega na wyznaczeniu takiego poziomu pasma szumu, który zaledwie maskuje ton o niewielkim poziomie, np. 10 dB SL, w funkcji częstotliwości środkowej pasma. Dla osoby o słuchu normalnym lub z ubytkami słuchu, lecz bez DR, minimum PTC przypada dla częstotliwości równej lub bardzo bliskiej częstotliwości tonu. Dla osoby mającej obszar martwy i dla tonu przypadającego na ten obszar minimum PTC jest przesunięte w stronę małych lub dużych częstotliwości. Przesunięcie to wskazuje na obecność DR i jego granice częstotliwościową. Diagnozowanie DR w oparciu o wyznaczenie PTC jest bardzo czasochłonne, przez co zastosowanie jej w praktyce klinicznej jest niemożliwe.

W ostatnim czasie zaproponowano szybką wersję metody pomiaru krzywej strojenia (FAST-PTC) w oparciu o tzw. szum przestrajany [6]. Pasma szumu, którego częstotliwość

środkowa zmienia się w przedziale dwóch oktaw jest maskerem a ton jest załączany i wyłączany regularnie w czasie. Poziom pasma szumu zmienia się ze stałą prędkością (od 0.01 do 20 dB/s), a zadaniem słuchacza jest kontrola kierunku zmian poziomu szumu tak, by sygnał był zaledwie słyszalny. Pomimo znaczącego przyspieszenia diagnostyki DR metoda ta jest jak dotąd dostępna wyłącznie w laboratoriach. Jednak szybki rozwój komputerów osobistych, a zwłaszcza postęp w jakości kart dźwiękowych pozwoliły na zaimplementowanie tej metody w komputerze PC.

W ramach niniejszej pracy przedstawiona jest metoda FAST-PTC, jej implementacja na komputerze PC oraz wstępne rezultaty uzyskane przy jej zastosowaniu. Przestrzajane pasmo szumu (dowolna częstotliwość początkowa i końcowa oraz kierunek przestrzajania) generowane jest w oparciu o odwrotną transformatę Fouriera. Prędkość przestrzajania pasma jest stała w logarytmicznej skali częstotliwości i zależy od arbitralnie przyjętego czasu jego trwania. Metoda ta jest zgodna z zaproponowaną przez Sęka *i in.* [6], będąc bardziej uniwersalną z uwagi na możliwość dowolnego doboru niemalże wszystkich parametrów sygnałów. Ma również i tę zaletę, że można ją stosować dysponując wyłącznie komputerem PC i dowolnymi słuchawkami. W przypadku osób z uszkodzeniami słuchu metoda ta wymaga zastosowania dodatkowego wzmacniacza słuchawkowego. Przy stosowaniu słuchawek HD 580 poziom sygnału wraz pasmem szumu jaki można uzyskać z karty dźwiękowej, bez ryzyka zniekształceń, nie przekracza 90 dB SPL co w przypadku tych osób jest niewystarczające. Dlatego też implementacja zawiera blok kalibracji umożliwiający stosowanie dowolnych słuchawek i zewnętrznego wzmacniacza. Przebieg sesji pomiarowej zmierzającej do określenia jednej PTC przebiega analogicznie jak w przypadku zestawu TDT. Surowe dane eksperymentalne poddane są dwupunktowej średniej, co prowadzi do wyznaczenia położenia minimum PTC, jednakże można stosować cały szereg procedur estymacji minimum PTC (zaproponowanych np. przez Sęka *i in.* [7]), jako że dane pomiarowe odkładane są w odpowiednich plikach tekstowych i graficznych.

Wstępne testy zaproponowanej implementacji pokazały pełną zgodność rezultatów uzyskiwanych zarówno w klasycznych pomiarach PTC (za pomocą metody 2 AFC) jak również za pomocą tej metody zaimplementowanej na zestawach TDT II i III. Wydaje się, że opracowana procedura oraz jej implementacja mogą stanowić łatwo dostępne i efektywne narzędzie służące diagnozowaniu martwych obszarów.

Literatura

- [1] Moore, B.C.J., M. Huss, D.A. Vickers, i T. Baer, *Psychoacoustics of dead regions*, in *Physiological and Psychophysical Bases of Auditory Function*, A.J.M. Houtsma, et al., Editors. 2001, Shaker: Maastricht.
- [2] Baer, T., B.C.J. Moore, i K. Kluk, *Effects of low pass filtering on the intelligibility of speech in noise for people with and without dead regions at high frequencies*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2002. **112**(3): p. 1133-1144.
- [3] Moore, B.C.J., M. Huss, D.A. Vickers, B.R. Glasberg, i J.I. Alcántara, *A test for the diagnosis of dead regions in the cochlea*. *British Journal of Audiology*, 2000. **34**: p. 205-224.
- [4] Chistovich, L.A., *Frequency characteristics of masking effect*. *Biophysics*, 1957. **2**: p. 743-755.
- [5] Small, A.M., *Pure-tone masking*. *Jour. A. Soc. Am.*, 1959. **31**: p. 1619-1625.
- [6] Sęk, A., J.I. Alcántara, B.C.M. Moore, K. Kluk, i A. Wicher, *Development of a fast method for determining psychophysical tuning curves*. *International Journal of Audiology*, 2005. **44**: p. 408-420.
- [7] Sęk, A., A. Wicher, i S. Drgas, *The fast method for determining psychophysical tuning curves: further refining*. *Archiwum Akustyki*, 2007, (submitted).

Psychofizyczne krzywe strojenia jako narzędzie do diagnozowania
martwych obszarów w ślimaku ucha wewnętrznego*Psychophysical tuning curves as a tool for dead region diagnosis*

Aleksander Sęk

*Institut Akustyki, Uniwersytet Adama Mickiewicza, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań
E-mail: olekse@amu.edu.pl*

Uszkodzenie słuchu pochodzenia ślimakowego może być związane z ustaniem funkcjonowania wewnętrznych komórek rzęsatych oraz/lub nerwu słuchowego [1]. Obszary ślimaka w których wewnętrzne komórki rzęstate nie funkcjonują nazywa się „martwymi obszarami”. Diagnozowanie martwych obszarów jest istotne dla właściwego doboru parametrów pracy aparatu słuchowego: wzmacnianie sygnałów w pasmach częstotliwości przypadających na martwe obszary przyczynia się często do pogorszenia zrozumiałości mowy [1]. Stąd też poznanie ich częstotliwościowych granic jest niezwykle ważne.

Diagnoza obszarów martwych jedynie w oparciu o audiogram tonalny jest niemożliwa z uwagi na zjawisko *off-frequency listening* [2]: ton, którego częstotliwość przypada na obszar martwy, może wywoływać wrażenie słyszalne. Pierwszą metodą pozwalającą na szybką diagnozę martwych obszarów zaproponowali Moore i in. [3], która polega na wykorzystaniu specjalnie w tym celu zaprojektowanego szumu. W przypadku słuchaczy o słuchu normalnym szum ten prowadzi do stałej wartości progów maskowania w szerokim zakresie częstotliwości (*Threshold Equalizing Noise*, TEN). Jednak zastosowanie tego szumu w odniesieniu do słuchaczy mających martwe obszary prowadzi do znaczącego wzrostu progów w zakresie częstotliwości przypadających na martwy obszar. Wzrost maskowanych progów w pewnych zakresach częstotliwości świadczy jednoznacznie o wstąpieniu takiego obszaru i wskazuje, w przybliżony sposób, jego częstotliwościowe granice. Jednak dokładne wyznaczenie granic martwego obszaru (wyrażone w jednostkach częstotliwości charakterystycznej komórek rzęsatych) dokonywane jest zwykle w oparciu o pomiar tzw. psychofizycznych krzywych strojenia (*Psychophysical Tuning Curve*, PTC), co jest najlepszą metodą określania częstotliwościowych granic martwych obszarów [4]. Przy ustalonej częstotliwości tonu o bardzo niskim poziomie wyznacza się poziom pasma szumu (dla kilku jego częstotliwości środkowych), który zaledwie maskuje ten ton. W przypadku słuchu normalnego oraz uszkodzeń odbiorczych bez martwych obszarów, minimum krzywej strojenia przypada dla częstotliwości równej lub bliskiej częstotliwości tonu. Jednak gdy częstotliwość tonu jest zlokalizowana w obszarze martwym to obserwuje się znaczne przesunięcie minimum krzywej strojenia, które przypada na granicę martwego obszaru [5].

Pomiar psychofizycznych krzywych strojenia jest bardzo czasochłonny w związku z czym zastosowanie tej metody w praktyce jest niemożliwe. Dlatego też opracowano tzw. szybką metodę wyznaczania psychofizycznej krzywej strojenia. W opracowanej metodzie sygnałem są impulsy tonu o częstotliwości f , poziomie 10 dB SL, czasie trwania 400 ms

oddzielone 300 ms interwałami ciszy. Częstotliwość środkowa wąskiego pasma szumu zmienia się w sposób ciągły w przedziale dwóch oktaw (od $0.5*f$ do $2*f$) ze stałą prędkością w skali logarytmicznej w czasie 4 minut. Stała prędkość w logarytmicznej skali częstotliwości ma istotne znaczenie dla odtworzenia charakteru tonotopowego rozkładu częstotliwości charakterystycznych na błonie podstawnej. Zadaniem słuchacza w tej metodzie jest kontrolowanie kierunku zmian poziomu szumu, który może się zmieniać ze stałą, zadaną prędkością (np. 2 dB/s) tak, by zaledwie maskować impulsy tonu. Gdy impulsy te są słyszane słuchacz proszony jest o zwolnienie przycisku, co powoduje wzrost poziomu szumu. W przeciwnym przypadku proszony jest o naciśnięcie i przytrzymanie przycisku co powoduje zmniejszanie poziomu szumu. Wolno przestrajana częstotliwość środkowa szumu powoduje, że wynik tego badania przypomina rezultat pomiaru progów słyszalności metodą Bekes'ego, choć wyznacza się w niej nie próg słyszalności a psychofizyczną krzywa strojenia.

Rezultaty pomiarów wykonanych zarówno dla słuchu normalnego jak i uszkodzonego z martwymi obszarami pokazały pełną przydatność tej metody, która jednoznacznie określa nie tylko wystąpienie martwego obszaru ale również wskazuje na jego częstotliwościowe granice [5]. Uzyskane za jej pomocą rezultaty są w pełni zgodne z analogicznymi danymi uzyskanymi w klasycznym pomiarze za pomocą metody 2 AFC.

Opracowana metoda została wstępnie zaimplementowana na komputerze klasy PC wyposażonym w kartę dźwiękową [6]. Jednak z uwagi na różnorodność tych kart, ich jakość oraz różnorodność możliwych do zastosowania słuchawek, uzyskiwane za jej pomocą rezultaty należy potwierdzić w laboratoriach bądź dokonać szczegółowej kalibracji całego systemu dźwiękowego komputera.

Literatura

- [1] Moore, B.C.J., *Dead regions in the cochlea: Diagnosis, perceptual consequences, and implications for the fitting of hearing aids*. Trends in Amplification, 2001. **5**(1): p. 1-34.
- [2] Patterson, R.D. i I. Nimmo-Smith, *Off-frequency listening and auditory filter asymmetry*. Journal of the Acoustical Society of America, 1980. **67**: p. 229-245.
- [3] Moore, B.C.J., M. Huss, D.A. Vickers, i T. Baer, *Psychoacoustics of dead regions*, in *Physiological and Psychophysical Bases of Auditory Function*, A.J.M. Houtsma, et al., Editors. 2001, Shaker: Maastricht. p. (in press).
- [4] Moore, B.C.J. i J.I. Alcántara, *The use of psychophysical tuning curves to explore dead regions in the cochlea*. Ear and Hearing, 2001. **22**: p. 268-278.
- [5] Sęk, A., J.I. Alcántara, B.C.M. Moore, K. Kluk, i A. Wicher, *Development of a fast method for determining psychophysical tuning curves*. International Journal of Audiology, 2005. **44**: p. 408-420.
- [6] Rusczyński, M. i A. Sęk. *Implementation of the FAST-PTC measurement method on a PC platform*. in *Open Seminar on Acoustics*. 2007. Rzeszów-Przemyśl.

INDEKS AUTORÓW



AUTHOR INDEX

Indeks Autorów • Author Index

- Aleksiejuk, M., 58, 60
Aranowska, E., 136
- Balcerzak, A., 62
Bal-Pyrzcz, R., 164
Baranowska, A., 50
Barwicz, W., 208
Batko, W., 164, 166, 168
Błaszak, M.A., 220
Błażejowski, A., 144
Bobitski, J., 110
Bochnia, M., 92
Bochniak, W., 156
Boczkar, T., 108, 204, 206
Bogucka, J., 78, 80
Borkowski, B., 166
Borucki, S., 204, 206
Brachmański, S., 112
Brański, A., 170
- Cempel, Cz., 176
Cichoń, A., 204, 206
Ciesielka, W., 146
Cieślik, J., 14, 156
Czerwiec, M., 64, 66
- Drgas, S., 220
Dukat, M., 68
Dulas, J., 114, 116
Dynowski, K., 70
Dzierko, M., 166
Dziewiszek, W., 92
- Elminowicz, A., 212
Engel, Z., 102
- Felis, J., 168
Flach, A., 168
- Gawda, H., 94, 126
Giesko, T., 168
Głocki, K., 166, 172
Grulkowski, I., 106
Gudra, T., 96
- Gutkiewicz, P., 100
- Hornowski, T., 84
- Ilczuk, J., 64, 66
- Jasieński, Z., 80
Jaskuła, M., 118
Jastrzębski, S., 214
Józefczak, A., 72, 84
- Kamisiński, T., 168
Kapustka, D., 166
Kasprzak, P., 90
Kilian, L., 216
Klimonda, Z., 74
Kłaczyński, M., 102
Kociński, J., 224
Kos, P., 36
Kostek, B., 140
Kotarbińska, E., 174
Kozłowski, E., 174
Krzyżyński, T., 144
Kuśnierz, J., 78, 80
Kutzner, D., 120
Kutzner, D.J., 222
Kúdela, S., 80
Kúdela Jr., S., 80
- Leniowska, L., 36
Leniowski, R., 158
Lewandowski, M., 76
Libiszewski, P., 224
Litniewski, J., 70
Lorenc, M., 206
Łabowski, M., 18
Łapka, W., 176
- Majewski, W., 128
Makomaska, S., 130
Marszał, J., 216
Mech, K., 160
Meissner, M., 148
Mężyk, J., 48

Michalski, W., 92
 Mikulski, W., 178, 188
 Miśkiewicz, A., 132
 Mizera, J., 80
 Młynek, A., 94
 Młyński, R., 180
 Modrzejewski, M., 104
 Mokryy, O., 110
 Muc, S., 96

 Nowicka, E., 182
 Nowicki, A., 70, 74, 76, 86

 Ostrowski, Z., 216
 Ozimek, E., 120

 Pawełczyk, M., 184
 Pawełek, A., 78, 80, 82
 Perelomova, A., 52
 Perużyńska, H., 118
 Piątkowski, A., 80, 82
 Piechowicz, J., 150
 Pieczonka, D., 40
 Plaskota, P., 226
 Plewa, M., 152
 Powałowski, T., 98, 100
 Przysiężny, M., 104
 Pustelny, W., 33
 Pyda, G., 122

 Raganowicz, A., 216
 Rakowski, A., 20, 134
 Ranachowski, P., 82
 Ranachowski, Z., 78, 80
 Rdzanek, W.J., 38
 Rdzanek, W.P., 24, 38, 40
 Regulska, P., 84
 Rejmund, F., 60, 82
 Rogowski, P., 134, 136
 Różycka, A., 38
 Ruszczyński, M., 228

 Schmidt, A., 216
 Secomski, W., 86
 Sęk, A., 120, 228, 230
 Sikora, J., 186
 Skrzypczyk, J., 42, 44
 Skumiel, A., 84

 Smagowska, B., 188
 Snakowska, A., 46
 Staroniewicz, P., 124
 Stoliński, M., 166
 Stryczniewicz, L., 190
 Szela, S., 170
 Szemela, K., 40
 Szmechta, M., 108

 Trawiński, Z., 98, 100
 Trębacz, H., 126
 Trots, I., 86
 Turkiewicz, J., 186
 Tymkiewicz, R., 86

 Uzar, K., 192

 Warchoń, J., 126
 Weryk, M., 194
 Wicher, A., 120
 Wiciak, J., 202
 Wierzbicki, J., 196
 Winkler-Skalna, A., 44
 Wójcik, J., 98
 Wrzeczono, P., 138
 Wszolek, G., 208
 Wszolek, T., 198, 200
 Wszolek, W., 102, 104

 Zachariasz, K., 216
 Zachariasz, R., 64, 66
 Zajączkowski, L., 212
 Zamorski, T., 54
 Zarycka, A., 68
 Zbrowski, A., 168
 Zhavnerko, G., 62
 Zmarzły, D., 108
 Żera, J., 180
 Żwan, P., 140