

POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



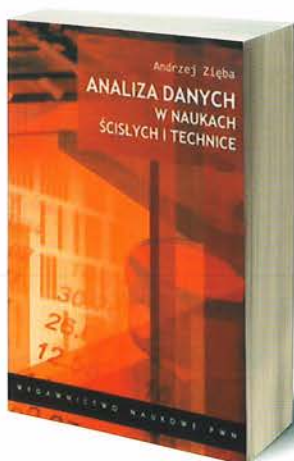
A. Preis, A. Skumiel, R. Makarewicz
Turbiny wiatrowe – źródła prądu
elektrycznego i hałasu

E. Skrodzka
Tańczące skrzypce, czyli eksperymentalne
badania ich drgań metodą analizy modalnej

A. Wicher, A. Sęk
Psychofizyczne i fizyczne metody badań słuchu

O temacie doktoratu zdecydowałem sam
z profesorem B. C. J. Moore'em rozmawiał A. Sęk





Andrzej Zięba

Analiza danych w naukach ścisłych i technice

Wydawnictwo Naukowe PWN,
Warszawa 2014

Analiza danych w naukach ścisłych i technice jest nowoczesnym podręcznikiem mającym na celu przedstawienie czytelnikowi aktualnych tendencji i zaleceń, a także nowych metod analizy danych.

Zastosowane przez autora stopniowanie trudności czyni go przydatnym na różnych poziomach zawodowego zaawansowania.

Książka odnosi się do aktualnego rozwoju programów komputerowych, które umożliwiły wykorzystanie wielu metod, nie realizowanych dawniej z powodu trudności obliczeniowych. Inne walory podnoszące atrakcyjność podręcznika to

- pełne uwzględnienie zaleceń konwencji Głównego Urzędu Miar oceny

dotyczące niepewności pomiaru,
- rzetelny opis obecnego stanu i nowości w dziedzinie jednostek miar,
- prezentacja metod dopasowania obejmująca algorytmy dopasowania różnych funkcji oraz badanie jakości dopasowania,
- opis nowych metod statystycznych takich jak: statystyka odpornościowa, analiza danych samoskorelowanych i zastosowania modelowania Monte Carlo.

Podręcznik stanowi pomocne narzędzie nie tylko dla kadry akademickiej i studentów biorących udział w kursie statystyki i opracowania danych lecz także dla zawodowych metrologów oraz pracowników laboratoriów.

R E K L A M A

Skraplarka helu w Twoim Laboratorium

Czy ciekły hel jest zbyt drogi?

Czy podczas pracy tracisz to cenne medium?

Porozmawiaj z nami, Mamy dobre rozwiązanie!

Ciekły hel w każdej chwili z ATL (Advanced Technology Liquefier)

Podstawowe cechy systemu:

- W pełni przenośny
- Łatwy w użyciu
- Zautomatyzowany proces odzysku helu
- Wydajność do 22 litrów ciekłego helu dziennie
- Niskie zużycie energii



Recycling helu

- Modułowy system odzysku helu dostosowany do potrzeb użytkownika
- Gromadzenie, przechowywanie i oczyszczanie helu



Informacje dla autorów. Czekamy na przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne. Układ pracy (tytuł, autor, afiliacja, streszczenie po polsku, tytuł angielski, streszczenie po angielsku, słowa kluczowe polskie i angielskie, tekst, odnośniki literaturowe, podpisy pod ilustracjami itd.) powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły w ostatnich zeszytach). Prace złożone w systemie TEX (Microsoft Office, OpenOffice) z ilustracjami o rozdzielczości co najmniej 300 dpi w osobnych plikach prosimy nadsyłać e-mailem pod adresem postepy@amu.edu.pl albo promczak@amu.edu.pl. Prace są recenzowane. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania tekstów, ich opracowywania oraz niezbędnych zmian terminologicznych. Autorzy powinni wykonać korektę autorską złożonego artykułu. Publikowanie w *Postęпах Fizyki* wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem utworu autorskiego na stronie *Postępow Fizyki* na podstawie licencji Creative Commons.

Prenumeratę dla osób/institucji niebędących członkami PTF prowadzi Ruch (<http://www.prenumerata.ruch.com.pl>). Prenumeratory, którzy nie chcą korzystać z usług pośredników, powinni wpłacić odpowiednią kwotę na konto główne PTF w Banku Flandrowym: 74 1030 0019 0109 8530 0046 3033, a następnie przesłać e-mailowo kopię potwierdzenia wpłaty ZG PTF i do redakcji *Postępow Fizyki*, podając adres, pod który mają być przesyłane *Postępy Fizyki*. Proszę też określić, jakie numery lub jaki rocznik obejmuje wpłata. Pojedynczy numer kosztuje 12 zł, a rocznik 72 zł. Koszty przesyłki pokrywa redakcja.



Avances in Physics founded in 1949 is the magazine of the Polish Physical Society, addressed to the Polish community of physicists. Published bimonthly in Polish. For a subscription information visit www.prenumerata.ruch.com.pl.

Okładka: farma wiatrowa na belgijskiej części Morza Północnego. Fot. Hans Hillewaert, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Belwind.jpg>.



LOT-QuantumDesign Polska
www.lot-qd.pl

☎ +48 32 248 20 48, ✉ info@lot-qd.pl



RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący)
 Mieczysław Budzyński
 Andrzej Dobek
 Witold Dobrowolski
 Zofia Gołąb-Meyer
 Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

REDAKCJA

Józef Barnaś
 Maria Marciniak (sekretarz redakcji)
 Piotr Tomczak (redaktor naczelny)
 Wawrzyniec Kaszub

ADRES REDAKCJI

Wydział Fizyki UAM
 ul. Umultowska 85
 61-614 Poznań
postepy@amu.edu.pl

KORRESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Anna Go (Białystok)
 Aleksandra Wronkowska (Bydgoszcz)
 Wojciech Gruhn (Częstochowa)
 Tomasz Jarosław Wąsowicz (Gdańsk)
 Roman Bukowski (Gliwice)
 Beata Kozłowska (Katowice)
 Aldona Kubala-Kukuś (Kielce)
 Małgorzata Nowina Konopka (Kraków)
 Elżbieta Jartych (Lublin)
 Michał Szanecki (Łódź)
 Halina Pięta (Opole)
 Maria Połomska (Poznań)
 Małgorzata Pociask (Rzeszów)
 Anna Kamińska (Ślupsk)
 Janusz Typek (Szczecin)
 Winicjusz Drozdowski (Toruń)
 Aleksandra Miłosz (Warszawa)
 Bernard Jancewicz (Wrocław)
 Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE**ZARZĄD GŁÓWNY**

Wiesław A. Kamiński (prezes), Bohdan Grządowski (sekretarz generalny), Piotr Rączka (skarbnik), Mariusz P. Dąbrowski, Jacek P. Goc, Zofia Gołąb-Meyer, Jerzy Warczewski (członkowie wykonawczy), Jacek M. Baranowski, Maria Dobkowska, Henryk Figiel, Bernard Jancewicz, Stefan Kruszewski, Andrzej Ślebarski, Andrzej Zięba, Elżbieta Zipper (członkowie)

ADRES ZARZĄDU

ul. Hoża 69,
 00-681 Warszawa,
 tel. (22) 621 26 68

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Ewa Mandowska (Częstochowa), Jarosław Rybicki (Gdańsk), Marcin Miczek (Gliwice), Wiktor Zipper (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Krzysztof Fiałkowski (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Tadeusz Wibig (Łódź), Stanisław Waga (Opole), Alina Dudkowiak (Poznań), Marian Kuźma (Rzeszów), Włodimir Tomin (Ślupsk), Mariusz Dąbrowski (Szczecin), Janusz Szatkowski (Toruń), Mirosław Karpierz (Warszawa), Antoni Mituś (Wrocław), Cao Long Van (Zielona Góra)

Czasopismo ukazuje się od 1949 roku

Dofinansowanie wszystkich zeszytów w roku 2013:

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Korekta: Barbara Kostrzewska (bystreoko.pl)

Skład i łamanie: TeXtura (dtp-art.pl)

Druk i oprawa: Moś i Luczak, Poznań

Nakład: 900 egzemplarzy

ISSN 0032-5430

Szanowni Państwo

Zakres zainteresowań współczesnej akustyki, której poświęcony jest ten numer *Postępów Fizyki*, jest rozległy: bada ona z jednej strony fale akustyczne i ich oddziaływanie z materią, a z drugiej wpływ hałasu na żywe organizmy; obu tych dziedzin dotyczą prezentowane artykuły. Pierwszy z nich wpisuje się także w aktualną dyskusję o wadach i zaletach elektrowni wiatrowych. Akustyka bada również subiektywne wrażenia słuchacza, związane z docierającą do niego falą dźwiękową. W numerze znajdują Państwo wywiad z profesorem Moore'em, światowej sławy psychoakustykiem. W kontekście jednej z wypowiedzi profesora chciałbym podzielić się następującą refleksją. Mianowicie (pozostając w kręgu zainteresowań akustyki) w przedmowie do swoich *Inwencji* Bach pisze, że ten cykl krótkich utworów zawiera „rzetelne wskazania, w których miłośnikom gry, spragnionym jej nauki, pokazany jest nie tylko dokładny sposób, jak wyuczyć się prowadzić czysto dwa głosy, lecz także jak uzyskać postęp i władać dobrze, wedle prawideł, trzema głosami *obbligato*, a nadto jak zyskać mocny przedsmak kompozycji”. *Inwencje* są wspaniałym przykładem stopniowania trudności w nauczaniu nie tylko muzyki – uczeń, pracując pod opieką kompetentnego nauczyciela, po pewnym czasie może rozpocząć komponowanie, a więc pracę twórczą. Myśl Bacha z pewnością dotyczy nie tylko nauki gry na instrumencie, ale także dobrego nauczania w ogólności. Tymczasem profesor Moore kładzie nacisk na samodzielność w uczeniu się i zdecydowanie mówi, że o temacie doktoratu zdecydował sam. No więc jak to jest? Czyżby rację miał angielski historyk Gibbon, który nieco pesymistycznie stwierdził, że „nauczanie rzadko okazuje się prawdziwie skuteczne, z wyjątkiem tych szczęśliwych jednostek, dla których jest ono niemal zbędne”?

Zapraszam do lektury.

Piotr Tomczak

Turbiny wiatrowe – źródła prądu elektrycznego i hałasu 98

A. Preis, A. Skumiel, R. Makarewicz

Psychofizyczne i fizyczne metody badań słuchu 110

A. Wicher, A. Sęk

Ultradźwięki jako narzędzie badań nanomateriałów 116

T. Hornowski, A. Józefczak, A. Skumiel

Tańczące skrzypce, czyli eksperymentalne badania ich drgań metodą analizy modalnej 120

E. Skrodzka

Dźwięki dla niewidomych 122

E. Skrodzka

O temacie doktoratu zdecydowałem sam 128

Z profesorem Brianem C. J. Moore'em rozmawiał Aleksander Sęk

Profesor Marek Kwiek – uczoney, nauczyciel i organizator 134

M. Łabowski, E. Hojan, E. Ozimek

Krótką historią Instytutu Akustyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu 139

R. Makarewicz

Nominacje profesorskie 140

Turbiny wiatrowe – źródła prądu elektrycznego i hałasu

Anna Preis, Andrzej Skumiel, Rufin Makarewicz

Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

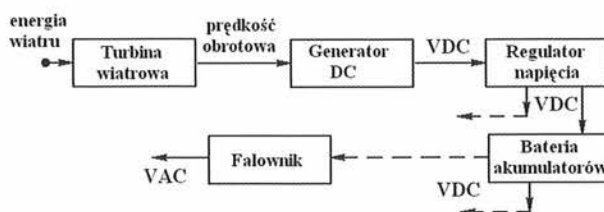
Turbiny wiatrowe zamieniają energię wiatru na energię elektryczną. Pisze się i mówi, że elektrownie wiatrowe to „czyste źródła” energii elektrycznej. Jest to prawda, ale tylko połowiczna: faktycznie nie produkują one żadnych związków chemicznych (np. dwutlenku węgla lub metanu), które byłyby szkodliwe dla człowieka i biosfery. Turbina wiatrowa generuje jednak hałas – szczególnie rodzaj fal akustycznych. Hałas nie wywiera zgubnego wpływu na stabilność biosfery i nie zagraża przyszłości gatunku ludzkiego, lecz już teraz degraduje życie milionom ludzi w Polsce i na całym świecie.

1. Turbina wiatrowa – źródło energii elektrycznej

Rozwój energetyki wiatrowej w ostatnich latach zmierza do zastosowania generatorów (prądnic) o coraz większej mocy i większej średnicy skrzydeł. Generatory stosowane w elektrowniach wiatrowych dzieli się na: prądnice prądu stałego, prądnice synchroniczne oraz prądnice asynchroniczne o mocach nawet kilku megawatów. Niezależnie jednak od typu prądnicy wyróżnia się dwa systemy: elektrownie pracujące w sieci wydzielonej oraz elektrownie przyłączone do krajowej sieci energetycznej.



Fot. 1. Turbiny wiatrowe o wysokości gondoli przekraczającej 100 m

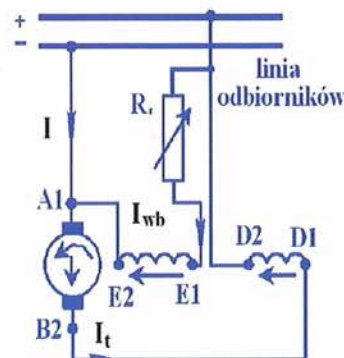


Rys. 1. Schemat układu autonomicznego z prądnicą prądu stałego

W przypadku elektrowni w sieci wydzielonej (rys. 1) stosowane są prądnice prądu stałego lub małe prądnice trójfazowe z magnesami trwałymi. Cechuje je zmienna prędkość obrotowa wirnika. Rozwiązanie to na ogół dotyczy mniejszych mocy, a wytworzona energia jest bezpośrednio zużywana do celów grzewczych. Nie ma tam potrzeby stabilizowania napięcia, które zależy od prędkości obrotowej turbiny wiatrowej. Poza tym system ten można wykorzystać do oświetlenia lub do ładowania baterii akumulatorów.

Prądnica szeregowo-bocznikowa prądu stałego.

Prądnica szeregowo-bocznikowa (rys. 2) łączy zalety prądnicy bocznikowej i szeregowej. W czasie wzbudzenia i pracy decydujący wpływ na strumień magnesujący ma uzwojenie bocznikowe. Dzięki jego



Rys. 2. Schemat prądnicy szeregowo-bocznikowej

zastosowaniu możliwe jest ustawienie napięcia biegu jałowego oraz płynna regulacja napięcia na zaciskach obciążonej maszyny. Uzwojenie szeregowo wpływa na zwiększenie przepływu wzbudzenia wraz ze wzrostem obciążenia. Wypadkowy magnetyczny strumień wzbudzenia jest sumą strumieni obu uzwojeń:

$$\Phi_w = \Lambda_d (\Theta_{wb} \pm \Theta_{ws}) \quad (1)$$

gdzie: Λ_d – przewodność obwodu magnetycznego w osi prostopadłej do osi szczotek, Θ_{wb} – przepływ uzwojenia bocznikowego, Θ_{ws} – przepływ uzwojenia szeregowego. Znak \pm zależy od tego, jaki zwrot mają przepływy z obu uzwojeń: zgodny czy przeciwny.

W przypadku przepływów zgodnych zmienność napięcia może być zerowa lub nawet ujemna. Zmienność napięcia w prądniccy bocznikowej jest o wiele większa, gdy przepływy są przeciwne. Napięcie i prąd na zaciskach maszyny oblicza się ze wzorów:

$$U = E - (R_{ws} + R_p + R_t)I_t - \Delta U_{sz}, \quad (2)$$

$$I_t = I + I_{wb}, \quad (3)$$

gdzie: U – napięcie na zaciskach prądniccy, E – siła elektromotoryczna, R_{ws} – rezystancja szeregowego uzwojenia wzbudzenia, R_p – rezystancja uzwojeń dodatkowych i doprowadzeń w obwodzie twornika, ΔU_{sz} – spadek napięcia na szczotkach ($< 2V$), I_t – prąd twornika, I_{wb} – prąd w bocznikowym uzwojeniu wzbudzenia, I – prąd obciążenia. Ponieważ indukowana w obracającym się wirniku siła elektromotoryczna E zależy od prędkości obrotowej łopat turbiny n , prąd twornika opisany jest wyrażeniem:

$$I_t = \frac{E - U}{\sum R_t} = \frac{C_e \cdot \Phi \cdot n - U}{R_t}. \quad (4)$$

Gdy prądnicca współpracuje równolegle z siecią prądu stałego i obroty maleją, moc elektryczna oddawana do linii maleje. W skrajnym przypadku, gdy $n = 0$, maszyna taka staje się silnikiem. Wówczas prąd zmienia kierunek i zaczyna pobierać energię z sieci.

Maszyna Rosenberga. Maszyna Rosenberga doskonale nadaje się jako generator w turbinach wiatrowych. Jest rodzajem prądniccy prądu stałego, w której biegunowość napięcia jest niezależna od kierunku obrotów prądniccy, a generowane napięcie w niewielkim stopniu zależy od prędkości obrotowej. Maszyna ta ma dwie pary szczotek. Szczotki poprzeczne są zwarte, a do szczotek podłużnych przyłączony jest obwód obciążenia. Począwszy od niewielkiej prędkości obrotowej, napięcie prądniccy staje się wyższe od napięcia

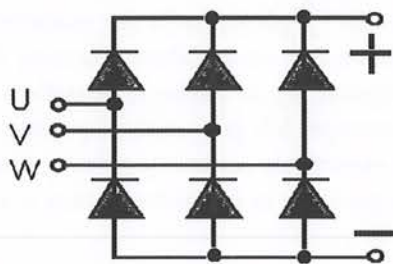
akumulatorów i prądnicca zasila sieć oświetleniową, ładując jednocześnie akumulatory. Maszynę Rosenberga wykorzystuje się do zasilania oświetlenia. W czasie bezwietrznym lub przy małych prędkościach obrotowych oświetlenie zasilane jest przez akumulatory. Tego typu prądnicce są również używane w wagonach kolejowych.

Prądnicce synchroniczne 3-fazowe z magnesami trwałymi. Prądnicce te stosuje się głównie w małych elektrowniach wiatrowych bądź elektrowniach wodnych. Do tego najlepsze są prądnicce wolnoobrotowe. Prądnicce te cechuje wysoka sprawność (ok. 90%), wyższa niż prądnic asynchronicznych lub prądu stałego. W porównaniu z innymi prądnicami, prądnicce z magnesami trwałymi mają większą wydajność energii elektrycznej. Generują one napięcie liniowo zależne od prędkości obrotowej. Przy znamionowej prędkości obrotowej i znamionowym obciążeniu na zaciskach prądniccy uzyskiwane jest napięcie znamionowe, natomiast przy dalszym wzroście prędkości obrotowej napięcie rośnie, gdyż sama prądnicca nie jest wyposażona w żaden ogranicznik prędkości obrotowej ani napięcia. Energię elektryczną najlepiej wykorzystać do ogrzewania wody użytkowej (bojler) lub do dogrzewania pomieszczeń. Dla centralnego ogrzewania zaleca się umieścić grzałki w obiegu CO. Budowa wiatraka we własnym zakresie jest inwestycją bardzo opłacalną. Należy jednak pamiętać, iż efektywność tej inwestycji zależy od średniej prędkości wiatru w miejscu budowy wiatraka (<http://www.pradnica.pl/przyklad/parametry.html>).

Na fot. 2 pokazano prądnicę synchroniczną z magnesami trwałymi. Prądnicce takie pracują najczęściej



Fot. 2. Prądnicca synchroniczna 3-fazowa (4 kW, 375 obr./min, 50 Hz)



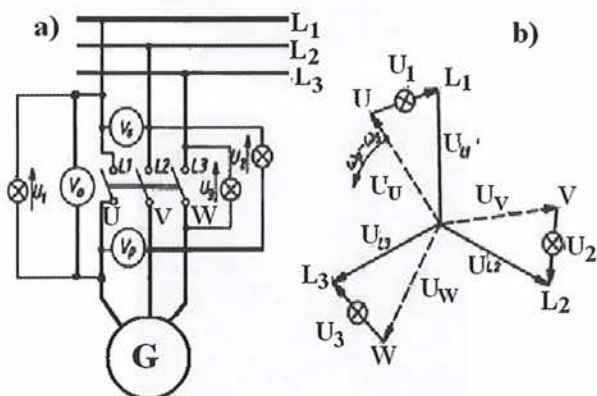
Rys. 3. Mostek prostowniczy 3-fazowy

w granicach od 200 do 750 obrotów na minutę, dlatego wymagają zastosowania przekładni podwyższającej obroty. Typowe napięcie elektryczne wynosi $231/400V_{eff}$ (uzwojenia połączone w gwiazdę), natomiast częstotliwość to 50 Hz.

Kiedy prądnica prądu przemiennego pracuje z zewnątrz siecią energetyczną, zachodzi konieczność synchronizacji, czyli uchwycenia właściwej chwili włączenia prądnicy do sieci. W takim przypadku powinny być spełnione następujące warunki:

- równość napięć sieci i prądnicy,
- równość częstotliwości sieci i prądnicy,
- równość faz odpowiednich napięć sieci i prądnicy,
- kolejność następstwa faz napięć sieci i napięć prądnicy musi być jednakowa.

Synchronizację można przeprowadzić ręcznie, półautomatycznie lub automatycznie. Układy synchronizacyjne całkowicie automatyczne są jednak drogie i skomplikowane. Synchronizacja „na ciemno” może być dokonana za pomocą układu żarówek (rys. 4). Przy równych częstotliwościach i zgodnej kolejności następstwa faz żarówki zapalają się i gasną jednocześnie, przy czym zapalenie się i gaśnięcie jest tym wolniejsze, im mniejsza jest różnica częstotliwości prądnicy i sieci. Włączenie prądnicy do sieci powinno nastąpić w chwili, gdy wszystkie żarówki zgasną, a woltomierz V_0 wskazuje zero. Żarówki są rozmieszczone w synchroskopie na okręgu – po to, aby można było

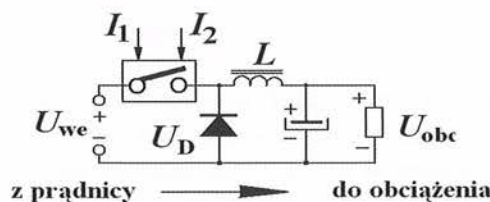


Rys. 4. Układ synchronizacji „na ciemno” za pomocą układu żarówek

lepiej śledzić ich zapalenie się i gaśnięcie. Zapalenie się i gaśnięcie kolejno żarówek świadczy o różnej kolejności następstwa faz napięć prądnicy i sieci. W celu doprowadzenia do zgodnej kolejności następstwa faz wystarczy zamienić przewody wyprowadzeniowe prądnicy (np. U z V).

Stabilizacja napięcia stałego metodą impulsową.

Przy metodzie impulsowej napięcie utrzymywane jest na stałym poziomie, niezależnie od prędkości wiatru. Najbardziej przydatny do tego celu jest stabilizator napięcia stałego, pracujący metodą impulsową (rys. 5),

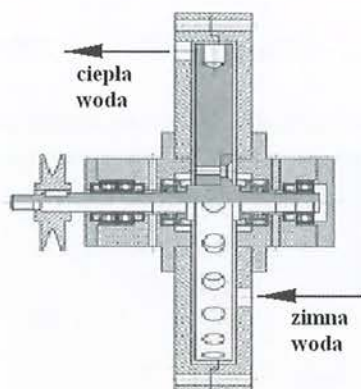


Rys. 5. Idea stabilizatora napięciowego metodą impulsową

którego sprawność energetyczna sięga 95–99%. Pracuje on bądź z modulacją szerokości impulsu (przy stałej częstotliwości), bądź jako układ z modulacją częstotliwości powtarzania impulsów. Układ taki składa się z klucza (łącznika) sterowanego sygnałami I_1 oraz I_2 oraz filtra LC , przepuszczającego składową stałą i diody impulsowej, przez którą płynie prąd w chwili odcięcia klucza. Idealnym elementem kluczującym prąd może być tyrystor.

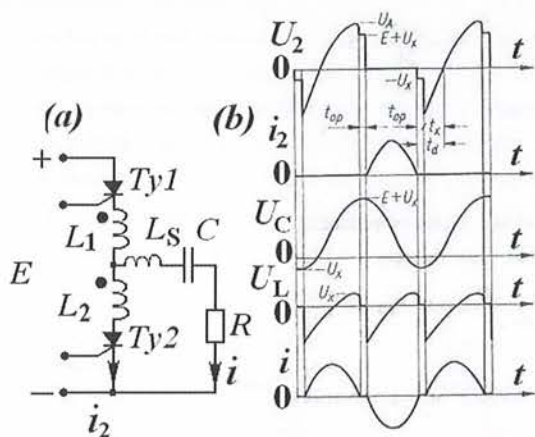
Pompa kawitacyjna. W turbinach wiatrowych większej mocy używane są hamulce, które ograniczają prędkość obrotową wału w chwilach silnego wiatru. Turbina wiatrowa nie może osiągać dowolnie dużych obrotów, ponieważ siła odśrodkowa może rozerwać łopaty. Wytracana energia wydziela się w postaci ciepła. Najprostszym sposobem ograniczenia prędkości obrotowej turbiny jest obciążenie generatora.

Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie pompy kawitacyjnej (rys. 6), zamieniającej energię mechaniczną w ciepło. Podłączając poprzez przekładnię podwyższającą obroty taką pompę do wału wiatraka, uzyskujemy „darmową” energię cieplną. Podczas wysokich obrotów wirnika zanurzonego w cieczy następują nagłe rozerwania ciągłości cieczy i powstają gazowe pęcherzyki. W fazie ich zapadania, gdy zmniejsza się ich objętość, powstają obszary o bardzo dużych ciśnieniach i wysokich temperaturach. Wtedy to energia mechaniczna, wymuszająca oscylacje, zamienia się na ciepło. Podgrzana w ten sposób woda może być wykorzystana do celów grzewczych.



Rys. 6. Budowa pompy kawitacyjnej współpracującej z generatorem większej mocy

Falowniki są układami elektronicznymi, które służą do zamiany energii prądu stałego na prąd przemienny, 1- lub 3-fazowy, o określonej częstotliwości. Dzięki temu można np. przyłączyć elektrownię wiatrową z prądnicą prądu stałego do zewnętrznej sieci energetycznej. Uproszczony schemat takiego falownika przedstawiono na rys. 7. Zastosowane tyrystory



Rys. 7. Układ falownika szeregowego: a) schemat, b) przebiegi czasowe

Ty1 i Ty2 są na przemian w stanie zwarcia i odcięcia, dzięki czemu w węzle łączącym trzy indukcyjności napięcie ma (w przybliżeniu) przebieg prostokątny. Jeśli dla częstotliwości pobudzenia tyrystorów tak dobierze się indukcyjność L_S i pojemność kondensatora C , aby ich wypadkowa impedancja wynosiła zero, to na obciążeniu R otrzymamy sinusoidalny przebieg napięcia prądu. Przy spełnieniu warunków synchronizacji można taką prądnicę połączyć z zewnętrzną siecią energetyczną.

2. Turbina wiatrowa – źródło hałasu

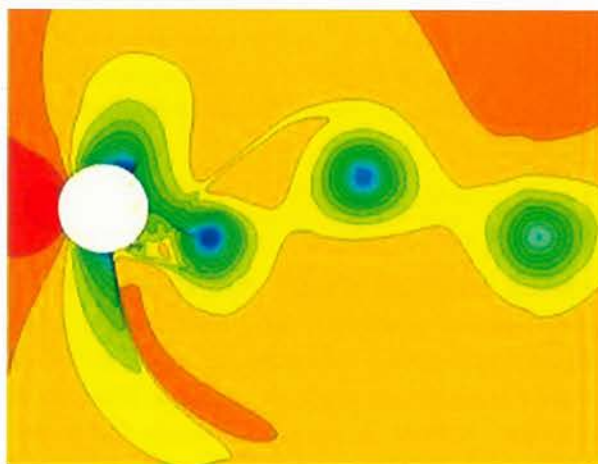
W XXI wieku dominują turbiny wiatrowe, których trzy łopaty (o długości kilkudziesięciu metrów) obracają

się w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni ziemi (fot. 1). Prądnica, wraz z całym układem przekładni, jest źródłem hałasu mechanicznego, którego energia jest dużo mniejsza od hałasu aerodynamicznego. Ten ostatni powstaje przy opływie powietrza obiektów nieruchomych (np. struna harfy eolskiej) lub podczas ruchu obiektów (np. samolotu) w nieruchomym powietrzu. Łopata turbiny jest szczególnie źródłem hałasu aerodynamicznego, gdyż obraca się w ruchomym ośrodku (wiatr).

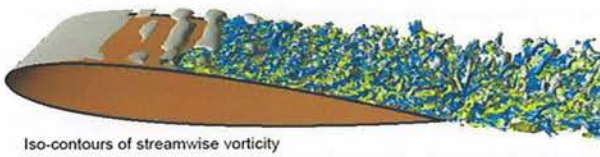
Aeroakustyka poczęła się w XVII wieku w momencie refleksji nad tajemnicą harfy eolskiej, czyli wiatrowej (Eol, król wiatrów, był synem Posejdona). Aeroakustyka to dziecko klasycznej dynamiki płynów i akustyki – nauki o wrażeniach dźwiękowych. Athanasius Kircher (1602-1680) zauważył, że to wiatr wzbudza drgania strun harfy. Ale prawdziwym szokiem było stwierdzenie Johna Rayleigha (1842-1919), iż wiatr wzbudza dźwięki harfy nawet wtedy, gdy jej struny są nieruchome! W ten oto sposób dla akustyków urodził się „ton krawędziowy”, a dla hydrodynamiców „ścieżka wirowa” (rys. 8), opisana przez Teodora von Karmanna (1881-1963).

Białe kółko na rys. 8 to przekrój poprzeczny nieruchomej struny, a zielone plamy to obszary podwyższonej gęstości powietrza. Równe odstępy między wirami oznaczają, że rodziły się one za struną w równych odstępach czasu, tzn. periodycznie. Dzięki temu ton krawędziowy ma określoną częstotliwość i subiektywnie odczuwaną wysokość.

Przekrój poprzeczny łopaty turbiny zmienia się wraz z odległością od osi obrotu i nie przypomina białego koła na rys. 8. Mało tego, prędkość i kierunek wiatru często zmieniają się wzdłuż łopaty. Wszystko to skutkuje przypadkowymi (w czasie i przestrzeni) zmianami gęstości powietrza, które nazywamy turbulencjami (rys. 9).



Rys. 8. Ścieżka wirowa von Karmanna



Rys. 9. Struktura turbulencji za łopatką turbiny

Każdą pojedynczą turbulencję, tj. zmianę gęstości, $\rho_0 \rightarrow \rho_0 + \rho(x, y, z, t)$, można traktować jako lokalne i chwilowe źródło fali akustycznej. Fali podobnej do tej, jaką generuje pękający pęcherzyk pary wodnej na powierzchni wrzątku. Zbiór fal akustycznych o przypadkowych amplitudach i częstotliwościach nosi nazwę hałasu. James Lighthill (1924–1998) identyfikował w źródłach hałasu aerodynamicznego „akustyczne” monopole, dipole i kwadrupole. Znalazły się one po prawej stronie równania Navier–Stokesa. To niejednorodne równanie falowe opisuje hałas aerodynamiczny łopaty turbiny wiatrowej (fot. 1),

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c^2 \sum_{i=1}^3 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i^2} = \frac{\partial Q}{\partial t} - \sum_{i=1}^3 \frac{\partial F_i}{\partial x_i} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}. \quad (5)$$

Ruch łopaty można opisać wirtualną zmianą jej kształtu albo wirtualnie pulsującym źródłem masy, $Q[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}]$. W dużej odległości otrzymuje się pulsacje ciśnienia. Przy spełnionym warunku $r \gg R$ pulsujący promień sfery, $R(t)$, prowadzi do relacji $Q \propto \dot{R}(t)$. Ruchoma łopata oddziałuje siłą, $F = [F_1, F_2, F_3]$, na strumień powietrza (dipol). Symbol T_{ij} oznacza tensor gęstości strumienia pędu, którego jednym ze składników jest mieszany iloczyn prędkości ruchu turbulencji, $v_i v_j$. Dla szczególnego przypadku monopola akustycznego mamy:

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c^2 \sum_{i=1}^3 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i^2} = \frac{\partial Q}{\partial t}. \quad (6)$$

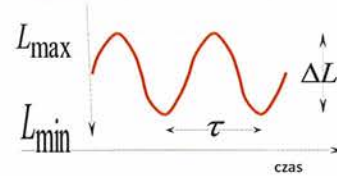
W takim przypadku rozwiązanie tego równania spełnia warunek, $\rho^2 \propto U^2$ (gdzie U oznacza prędkość opływu łopaty), skąd dalej moc akustycznie $W \propto U^4$. Z kolei rozwiązanie równania falowego dla dipola akustycznego:

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c^2 \sum_{i=1}^3 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i^2} = - \sum_{i=1}^3 \frac{\partial F_i}{\partial x_i}, \quad (7)$$

proceedzi do relacji $W \propto U^6$. Oddziaływanie turbulencji z powierzchniami łopatek jeszcze bardziej komplikuje opis. Pomiary wykazują, że moc akustyczna rośnie z piątą potęgą prędkości opływu. Oznacza to, że ważony krzywą A poziom ciśnienia akustycznego, L_{pA} , w odległości r od turbiny można obliczyć ze wzoru:

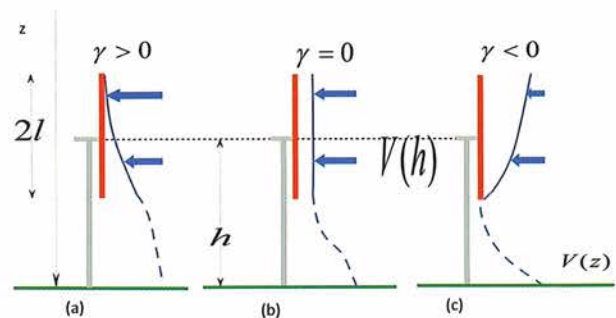
$$L_{pA} = 50 \log \frac{U}{U_0} - 20 \log \frac{r}{r_0} - G(r), \quad (8)$$

gdzie $U_0 = 1 \text{ m/s}$ oraz $r_0 = 1 \text{ m}$, a funkcja $G(r)$ opisuje pochłanianie energii akustycznej przez atmosferę i przez powierzchnię ziemi.



Rys. 10. Periodyczne zmiany ważonego krzywą A poziomu ciśnienia akustycznego, spowodowane gradientem prędkości wiatru (wzór 9)

Na dokuczliwość hałasu turbin wiatrowych ma wpływ nie tylko średnia wartość L_{pA} , ale również głębokość modulacji, ΔL (rys. 10). Zwykle prędkość wiatru rośnie z wysokością (rys. 11a) i wtedy maksimum L_{max} odpowiada wertykalnemu położeniu łopaty z jej wierzchołkiem „u góry” (pierwsza turbina z lewej strony na fot. 1). To właśnie za nią (patrząc z wiatrem) jest najwięcej turbulencji. I odwrotnie, kiedy prędkość wiatru maleje z wysokością (rys. 11c), maksimum L_{max} związane jest z wertykalnym położeniem łopaty, ale tym razem z wierzchołkiem „u dołu” (czwarta turbina z prawej strony na fot. 1). Kiedy prędkość wiatru jest stała w płaszczyźnie rotacji (rys. 11b), modulacja zanika.



Rys. 11. Zmiany prędkości wiatru z wysokością nad poziomem ziemi

Jeżeli $V(h)$ oznacza prędkość wiatru na wysokości gondoli, a l długość łopaty, to w takim przypadku prędkość wiatru na wysokości płaszczyzny rotacji, $h - l < z < h + l$, można aproksymować funkcją liniową:

$$V(z) \approx V(h) \cdot \left[1 + \gamma \cdot \frac{z - h}{l} \right], \quad (9)$$

przy czym gradient prędkości wiatru spełnia nierówność $-1 \leq \gamma \leq +1$.

3. Dokuczliwość hałasu

Ponieważ hałas emitowany przez turbiny wiatrowe jest dokuczliwy [1, 2], pojawił się problem wynikający z różnych metod jego oceny i kontroli. Odczuciu dokuczliwości hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe, oprócz hałasu, decydują czynniki wzrokowe oraz środowiskowe [3]. Zarówno w Polsce, jak i w innych krajach europejskich hałas turbin traktuje się tak samo jak każdy inny hałas przemysłowy. Jest to oczywisty błąd, gdyż dokuczliwość typowego hałasu przemysłowego jest dużo mniejsza od dokuczliwości hałasu turbin wiatrowych [2, 4, 5], przy tym samym poziomie L_{AeqT} . Równoważny poziom dźwięku A definiuje się za pomocą następującej całki:

$$L_{AeqT} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_{pA}(t)} dt \right), \quad (10)$$

gdzie T (w sekundach) oznacza czas uśredniania, natomiast L_{pA} oznacza chwilową wartość ważonego krzywą A poziomu ciśnienia akustycznego. Jeżeli założymy, że czas uśredniania hałasu wynosi 1 rok, i osobno policzymy równoważny poziom dźwięku dla różnych przedziałów czasowych (pora dzienna – od godz. 6.00 do 18.00, wieczorna – od 18.00 do 22.00, nocna – od 22.00 do 6.00), otrzymamy obowiązujący w całej Europie dzienny, wieczorny i nocny roczny równoważny poziom dźwięku:

$$L_{DWN} = 10 \log \left[12 \cdot 10^{0.1L_D} + 4 \cdot 10^{0.1(L_w+5)} + 8 \cdot 10^{0.1(L_N+10)} \right]. \quad (11)$$

We wzorze tym L_D oznacza długookresowy średni poziom dźwięku A, wyrażony w dB, wyznaczony dla wszystkich pór dnia w roku, L_w – długookresowy średni poziom dźwięku A, wyznaczony dla wszystkich pór wieczoru w roku, a L_N jest długookresowym średnim poziomem dźwięku A, określonym dla wszystkich pór nocy w roku. Pora dzienna trwa 12 godzin, wieczorna 4 godziny, a nocna 8 godzin. W tym kompleksowym wskaźniku oceny hałasu dla pory wieczornej dodaje się wartość 5 dB do zmierzonej bądź wyliczonej wartości poziomu hałasu, a w porze nocnej 10 dB.

Wielkość mierzonego poziomu hałasu charakteryzuje wartość narażenia, czyli tzw. dawka hałasu. W aktualnie obowiązującej w Europie dyrektywie hałasowej [6] oraz w zaleceniach WHO [7] zakłada się, że efekty oddziaływania hałasu na organizm człowieka powinno się określać w skali roku. To uzasadnia korelowanie L_{DWN} z negatywnymi efektami oddziaływania hałasu. Wyniki oceny dokuczliwości hałasu zwykle przeprowadza się na dużej liczbie osób i mają one postać zależności pomiędzy liczbą osób (wyrażoną w procentach) odczuwających dany hałas jako „dokuczli-

wy” lub „skrajnie dokuczliwy” (reakcja) i jego „dawką”, zwykle wyrażaną poprzez wskaźnik oceny hałasu w Polsce, L_{DWN} .

Aktualnie obowiązujące w Europie i Polsce krzywe „narażenie – reakcja” tworzone są w oparciu o standardową metodę oceny dokuczliwości hałasu [8], dostępną również w wersji polskiej [9], którą można zastosować zarówno do werbalnej, jak i do liczbowej oceny dokuczliwości hałasu. W oparciu o tę metodę można wyznaczyć procent ludzi odczuwających hałas jako skrajnie dokuczliwy. Ocena dokuczliwości hałasu na skali werbalnej polega na odpowiedzi na następujące pytanie:

Mysząc o ostatnich (12 miesiącach lub podobnym okresie), kiedy był/była Pan/Pani w domu, proszę odpowiedzieć, jak bardzo hałas z (nazwa źródła) przeszkadzał/irytował/dokuczał Panu/Pani: skrajnie, bardzo, średnio, mało, wcale?

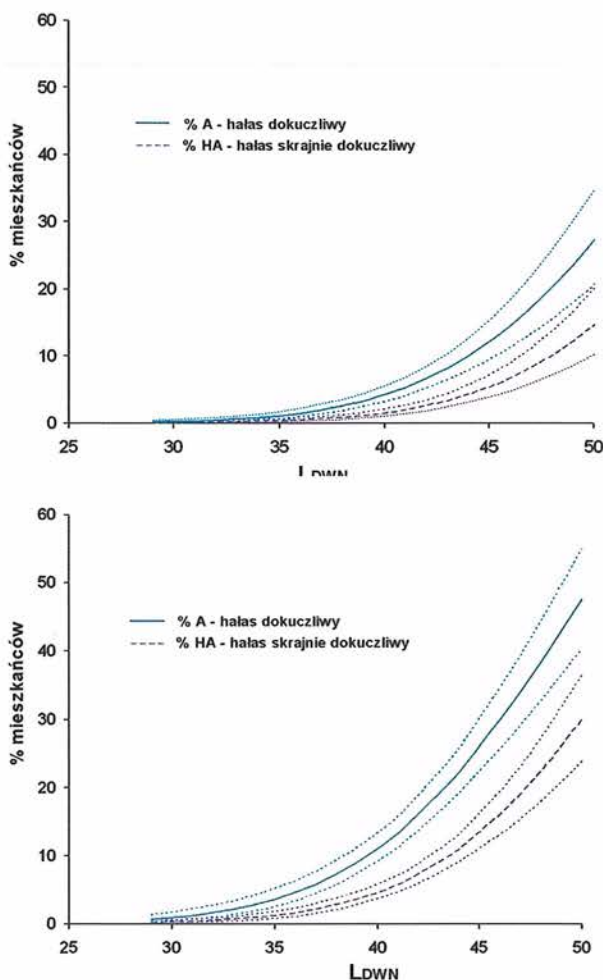
Z kolei ocena dokuczliwości hałasu na skali liczbowej wymaga odpowiedzi na pytanie:

Prezentuję Panu/Pani skalę liczbową od 0 do 10 dla wyrażenia opinii, jak bardzo (źródło hałasu) hałas przeszkadza, irytuje lub dokucza, gdy jest Pan/Pani w domu. Jeśli nie dokucza Pani/Panu hałas wcale, proszę wybrać 0, jeśli dokucza ekstremalnie, proszę wybrać 10, jeśli dokucza w sposób „pomiędzy”, proszę wybrać liczbę pomiędzy 0 i 10. Mysząc o ostatnich (12 miesiącach lub podobnym okresie), jaka liczba od 0 do 10 najlepiej opisuje, jak bardzo przeszkadza/irytujący/dokuczliwy był hałas pochodzący od (nazwa źródła hałasu)?

Dokuczliwość hałasu turbin wiatrowych w relacji do poziomu dźwięku generowanego przez to źródło. Stosunkowo niewiele prac zawiera wyniki dotyczące dokuczliwości turbin wiatrowych. Do najczęściej cytowanych zaliczyć trzeba prace [1, 2, 10, 11, 12]. Jednak tylko dwa badania przeprowadzone w Szwecji [11, 12] oraz badania holenderskie [1, 2] dają możliwość (ze względu na podobną metodykę badań) wyznaczenia zależności „narażenie – reakcja” dla hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe i porównania tych wyników z krzywymi wyznaczonymi dla innych źródeł hałasu. We wszystkich tych pracach stopień dokuczliwości hałasu badano przy pomocy ankiet. Oryginalna, 5-stopniowa skala dokuczliwości: 1 – „nie zauważam”, 2 – „zauważam”, 3 – „lekko dokuczliwy”, 4 – „raczej dokuczliwy”, 5 – „bardzo dokuczliwy”, została zakodowana jako czterostopniowa z nową kategorią 1 (niedo-

kuczliwy hałas), która powstała ze zsumowania kategorii 1 i 2. Następnie te cztery kategorie przeskalowano na skalę od 0 do 100 i ustalono dwa punkty odcięcia na tej skali: 50 wyznacza procent ludzi, którym hałas dokucza (%A), natomiast 72 wyznacza procent ludzi, którym hałas bardzo dokucza (%HA). Środkowe punkty tej przeskalowanej skali to: 12,5, 37,5, 62,5 i 87,5.

Natomiast dawkę hałasu L_{DWN} wyliczano zgodnie z obowiązującymi w Unii Europejskiej zasadami. Wartość L_{DWN} obliczano na podstawie zmierzonej dawki hałasu (zewnątrzny pomiar korygowanego krzywą A poziomu dźwięku od najbliższej turbiny), do którego dodawano wartość poprawki +4,7 dB(A) jako średnią różnicę pomiędzy L_{DWN} a L_{AeqT} . Poziom dźwięku mierzono dla prędkości wiatru 8 m/s na wysokości 10 m w kierunku do miejsca zamieszkania przez danego respondenta. Najwyższe wartości dawki hałasu wystąpiły w badaniach przeprowadzonych w Holandii, gdzie wartości L_{DWN} były zarówno poniżej 35 dB,



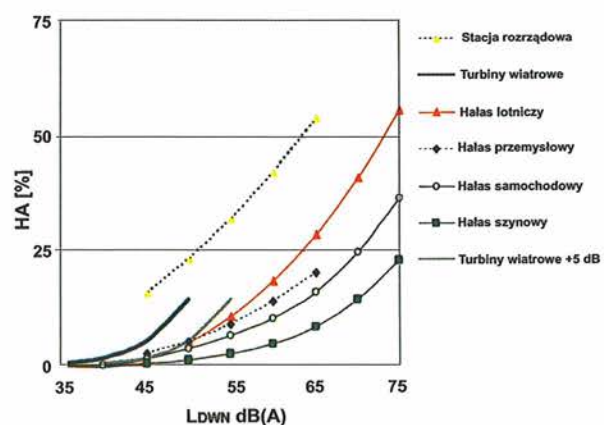
Rys. 12. Relacja „narażenie – reakcja” pomiędzy L_{DWN} i procentem mieszkańców oceniających hałas turbin wiatrowych jako dokuczliwy (%A) i jako skrajnie dokuczliwy (%HA) wewnątrz (górny wykres) i na zewnątrz domu (dolny wykres) [13]

jak i powyżej 45 dB. Natomiast w badaniach przeprowadzonych w Szwecji większość respondentów była ekspozycja na poziomy z zakresu 35 i 40 dB. Krzywe przedstawiające zależność „narażenie – reakcja” dla turbin wiatrowych zostały wyznaczone na podstawie tych badań w pracy [13]. Na rys. 12 przedstawiono te krzywe w odniesieniu do sytuacji, kiedy respondenci oceniali dokuczliwość, przebywając na zewnątrz i wewnątrz swoich domów.

Porównanie dokuczliwości hałasu turbin wiatrowych z innymi źródłami. Na rys. 13 przedstawiono krzywe „narażenie – reakcja” dla różnych źródeł dźwięku, obejmujących także turbiny wiatrowe. Podobnie jak na rys. 12, na osi rzędnych odłożono procent ludzi oceniających dany hałas jako skrajnie dokuczliwy (%HA), a na osi odciętych zaznaczono wartość poziomu hałasu, L_{DWN} .

Z rys. 13 wynika, że np. hałas przemysłowy (na rysunku – przerywana krzywa z czarnymi rombami) dla poziomu hałasu 45 dB wywoła ocenę „skrajnie dokuczliwy” u ok. 3% ludzi narażonych na ten hałas, podczas gdy ten sam poziom hałasu w przypadku turbin wiatrowych (ciągła ciemna krzywa) wywoła ocenę „skrajnie dokuczliwy” u ok. 6% ludzi. Dla obydwu tych źródeł (turbina wiatrowa zaliczana jest do hałasu przemysłowego) obowiązują te same wartości dopuszczalnego hałasu.

Istnieje kilka hipotez wyjaśniających tę subiektywną ocenę dokuczliwości hałasu turbin wiatrowych. Są to hipotezy dotyczące wpływu zarówno akustycznych, jak i nieakustycznych czynników na dokuczliwość hałasu turbin wiatrowych.



Rys. 13. Procent ludzi, którzy odczuwają dany hałas jako skrajnie dokuczliwy (%HA – oś y), kiedy są ekspozycy na hałas wewnątrz pomieszczenia (L_{DWN} – oś x). Poszczególne krzywe reprezentują różne źródła hałasu (od góry odpowiednio): hałas „stacji rozrządowej”, hałas turbin wiatrowych, hałas lotniczy, hałas przemysłowy, samochodowy, szynowy oraz turbin wiatrowych o zwiększonym o 5 dB poziomie L_{DWN} . [14, 15, 16]

Wpływ akustycznych czynników na dokuczliwość hałasu turbin wiatrowych. Według najnowszych badań, niskoczęstotliwościowe słyszalne fluktuacje amplitudy (nazywane „modulacją amplitudową”), występujące w hałasie turbin wiatrowych, przy relatywnie niskim poziomie L_{AeqT} są najlepszym kandydatem wyjaśniającym dokuczliwość turbin wiatrowych [17]. Jednocześnie wyniki badań podstawowych z dziedziny słyszenia [17, 18] pokazują, że hałas, którego amplituda fluktuuje w czasie, generuje większą dokuczliwość niż hałas o stałym w czasie poziomie dźwięku. Wyniki te jednak nie wskazują jednoznacznie, jaka wartość w dB odpowiada za różnicę w ocenie dokuczliwości hałasu stałego w czasie w stosunku do hałasu o fluktuującej amplitudzie.

Wyniki kwestionariuszy potwierdzają fakt, że w hałasie generowanym przez turbiny wiatrowe występuje wrażenie fluktuacji poziomu dźwięku, kojarzone z efektem znanym w percepcji jako modulacja amplitudowa sygnału [19, 20]. Innego zdania są autorzy pracy [18], którzy twierdzą, że modulacja amplitudy była wskazywana tylko w 4 na 27 analizowanych przez nich przypadków. Wydaje się jednak, że problem związany był raczej z niewiedzą ludzi na temat tego, co to znaczy modulacja amplitudy. Jeśli ludziom w sposób opisowy zadano pytanie dotyczące fluktuacji poziomu, to okazało się, że spostrzegają te fluktuacje, a niekoniecznie potrafią je nazwać modulacją amplitudową.

Z nauki o słyszeniu wiadomo, że ludzie spostrzegają fluktuacje poziomu dźwięku, kiedy częstotliwość modulacji jest mniejsza od 20 Hz. Najbardziej czuli jesteśmy na fluktuacje, kiedy częstotliwość modulacji wynosi 4 Hz, która to częstotliwość jest typowa dla percepcji rytmu w muzyce i w mowie. Dla zmierzenia takich fluktuacji stosuje się tzw. siłę fluktuacji – wielkość, którą definiuje się jako procent modulacji danego sygnału w odniesieniu do modulacji najbardziej spostrzegalnej (100-procentowa modulacja). Fizycznie siła modulacji definiowana jest jako zmiana ciśnienia akustycznego spowodowana modulacją odniesioną do średniej amplitudy. Różnica w poziomie dźwięku ΔL , wywołana modulacją, jest zdefiniowana następująco:

$$\Delta L = 10 \log \frac{1+m}{1-m}, \quad (12)$$

gdzie m jest głębokością modulacji.

Wzór, według którego można obliczyć siłę fluktuacji, F , zaproponowano w pracy [21]. Dla szerokopasmowego szumu (*Broad Band Noise*, BBN), jakim jest hałas turbiny wiatrowej, wzór na siłę fluktuacji F ma postać następującą:

$$F_{BBN} = \frac{5,8(1,25m - 0,25)(0,005L_A - 1)}{\sum \left(\frac{f_m}{5}\right)^2 + \sum \frac{4}{f_m} + 1,5}, \quad (13)$$

gdzie m oznacza głębokość modulacji, L_A poziom szumu, a f_m częstotliwość modulacji.

Siłę fluktuacji mierzy się w jednostkach *vacil*, gdzie 1 *vacil* to fluktuacje tonu o częstotliwości 1 000 Hz i poziomie 60 dB, modulowanego amplitudowo, tonem o częstotliwości 4 Hz ze 100-procentową głębokością modulacji. Dla turbin wiatrowych można przyjąć, że $f_m = 1$ Hz oraz $L_{pA} = 40$ dB. Przy takich założeniach dobrą aproksymacją wzoru (2) jest wyrażenie (dla $\Delta L < 9$ dB):

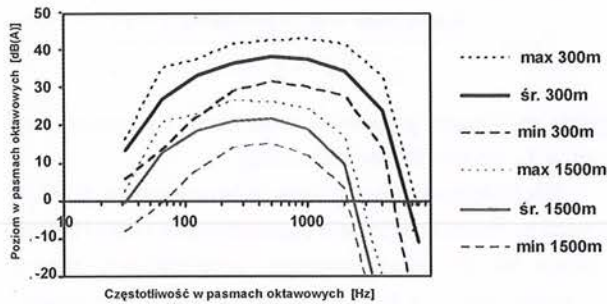
$$F_{BBN} = 0,072 \cdot (\Delta L - 3,6). \quad (14)$$

W pracy [22] można znaleźć obliczenia pokazujące, że wzrostowi ΔL od 3 dB do 6 dB towarzyszy wzrost wartości m od 17% do 33%, a samej wartości siły fluktuacji, F , wzrost od 0 do 0,17 *vacil*. Dla prawdopodobnej najwyższej wartości fluktuacji poziomu 9 dB m wynosi 50%, a $F = 0,39$ *vacil*. Z kolei dla $L_{pA} = 50$ dB siła fluktuacji, F , wynosi 0,59 *vacil*.

O ile wartości obliczone według zależności (3) dobrze opisują fluktuacje sygnału, o tyle korelacja wartości wyliczonych przy pomocy tej formuły z oceną dokuczliwości hałasów turbin wiatrowych nie zawsze jest potwierdzona przez badaczy [23]. Powstaje zatem pytanie, czy istnieje jakaś inna miara fluktuacji poziomu, które niewątpliwie występują w hałasie turbin wiatrowych, a która korelowałaby z ocenami dokuczliwości tego hałasu. Nad tym zagadnieniem wiele ośrodków w świecie aktualnie pracuje.

W pracy [25] sugerowano, że to duża zawartość niskich składowych w widmie hałasu turbin decyduje o jego większej – w porównaniu z innymi hałasami – dokuczliwości. Jednak od tego czasu pojawiło się wiele innych doniesień [18] mówiących o tym, że poziom tych niskich częstotliwości w widmie hałasu turbin wiatrowych jest niewystarczający, aby mógł być odpowiedzialny za ocenę dokuczliwości tego specyficznego źródła hałasu. Na rys. 14 przedstawiono energetyczny udział poszczególnych częstotliwości w widmie hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe. Widać wyraźnie, że dominują częstotliwości z zakresu od 100 do 1000 Hz.

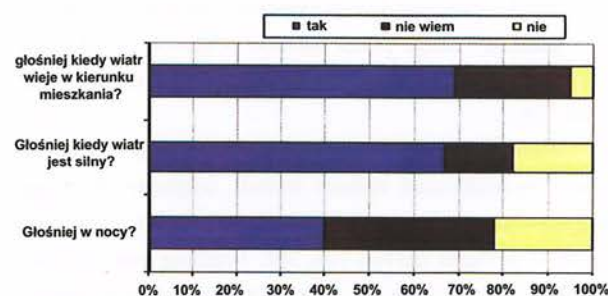
Wielu badaczy twierdzi, że nawet niesłyszalne niskie częstotliwości hałasu turbin wiatrowych mogą negatywnie oddziaływać na zdrowie ludzi mieszkających w pobliżu turbin [25, 26]. Według autorów pracy [27], różnice pomiędzy wewnętrznymi i zewnętrznymi komórkami rzęskowymi w uchu wewnętrznym człowieka mogą charakteryzować się różną czułością



Rys. 14. Poziomy dźwięku w pasmach oktaowych w odległości 300 i 1500 m od pojedynczej turbiny wiatrowej. Odpowiednimi krzywymi zaznaczono wartości poziomów: maksymalne, minimalne i średnie [1]

na częstotliwość. Zakładali oni, że ta różna czułość może dotyczyć również infradźwięków, które (razem z niskoczęstotliwościowymi składowymi) mogą oddziaływać na organizm człowieka. Nie ma jednak, jak do tej pory, bezsprzecznych dowodów na szkodliwe dla zdrowia oddziaływanie podprogowych niskich częstotliwości i niesłyszalnych z definicji infradźwięków.

Wpływ czasu ekspozycji hałasu turbin wiatrowych – noc. Poziom hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe w nocy nie jest niższy niż w ciągu dnia, pomimo spadku prędkości wiatru przy powierzchni ziemi. Dzieje się tak dlatego, że prędkość wiatru na wysokości łopat pozostaje niezmienną. Między innymi w pracy [28] pokazano, że poziom mocy turbiny wiatrowej w ciągu nocy może być o 0,5 dB wyższy niż w ciągu dnia. Te trochę wyższe poziomy są percepcyjnie spostrzegane jako bardziej dokuczliwe ze względu na większy kontrast w nocy pomiędzy poziomem tła i poziomem pracujących źródeł hałasu. Niższy poziom tła w nocy wiąże się z mniejszym ruchem drogowym i mniejszą aktywnością ludzi. Jedno z pytań zamieszczonych w kwestionariuszu badającym efekt oddziaływania hałasu turbin wiatrowych na ludzi (badania holenderskie [28]) brzmiało: „Czy hałas w nocy jest głośniejszy?”. Jak pokazano na rys. 15, tylko 22% respondentów uznało, że hałas



Rys. 15. Procent respondentów odpowiadających na pytanie dotyczące m.in. głośności hałasu występującego w nocy [1]

jest mniej słyszalny w nocy, 40% z kolei stwierdziło, że jest głośniejszy w nocy, a 38% nie zauważyło istotnej różnicy pomiędzy głośnością hałasu turbin wiatrowych w nocy i w dzień. Oznacza to, że dla większości respondentów hałas generowany przez turbiny wiatrowe nie słabnie w nocy.

Wpływ nieakustycznych czynników na dokuczliwość hałasu turbin wiatrowych. Istnieje wiele osobistych i socjologicznych powodów, dla których niektórzy ludzie hałas o identycznym poziomie odczuwają jako „różnie dokuczliwy”. Oto kilka z nich: ekonomiczna korzyść, widok turbiny wiatrowej, wiedza o zmianach głośności hałasu turbiny, stosunek do turbin wiatrowych, rzetelność postępowania w procesie instalacji tych urządzeń. Wpływ tych czynników jest potwierdzony w badaniach i ma duże znaczenie przy ocenie dokuczliwości hałasu. W badaniach, których celem jest wyznaczenie relacji „narażenie – reakcja”, wyklucza się respondentów, którzy czerpią finansowe korzyści z istnienia farm wiatrowych w pobliżu ich miejsca zamieszkania [13].

Z badań przeprowadzonych przez autorów pracy [2] wynika także, że respondenci, którzy widzą ze swoich okien przynajmniej jedną turbinę wiatrową, oceniają hałas jako bardziej dokuczliwy. Przyczyny tej reakcji mogą być różne, m.in. kiedy turbiny nie widać, reakcja słuchowa jest mniejsza. Działa tu mechanizm „czego nie widać, tego nie słychać”. Z drugiej strony, widok obracającego się śmigła potężnej instalacji może koncentrować uwagę na źródle i zawyżać ocenę jego dokuczliwości na zasadzie multimodalnej interakcji [29]. Z badań laboratoryjnych [30], w których badano interakcje pomiędzy prędkością obrotową łopat turbiny wiatrowej a ich kolorem, poziomem hałasu i kształtem turbiny, wynika, że ocena głośności, a w konsekwencji ocena dokuczliwości hałasu, zależała nie tylko od jego poziomu (czego należało oczekiwać), ale również od liczby turbin, prędkości obrotowej łopat i ich koloru.

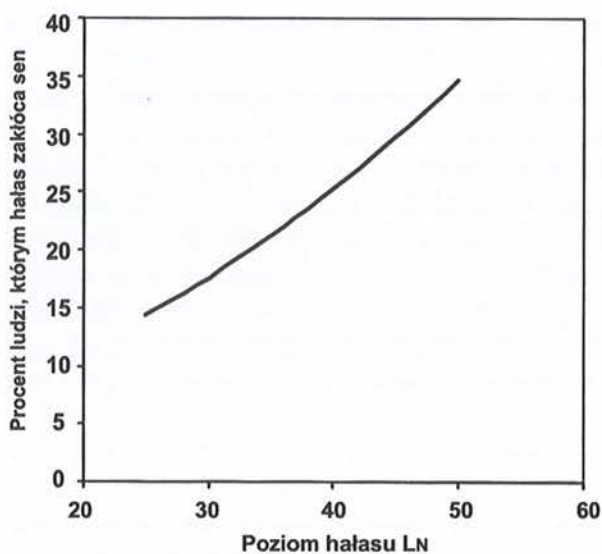
Wiadomo, że poziom hałasu generowany przez turbinę wiatrową zmienia się w sposób losowy. W szczególności w przypadku bardzo dużych współczesnych turbin istnieje duże prawdopodobieństwo wyłączenia czasowego, szczególnie w nocy. Jeśli ludzie są świadomi, iż zbyt duży hałas prowadzi do automatycznego wyłączenia turbiny, to wtedy jest mniej skarg na hałas w porównaniu do sytuacji, kiedy świadomości takiej nie ma [31].

Negatywny stosunek ludzi do turbin wiatrowych wynika z teorii nazwanej po angielsku „place attachment”, co w wolnym tłumaczeniu oznacza „przywiązanie do miejsca”. Według tej teorii, każde nowe techniczne urządzenie, które nie przynosi korzyści dla danego

środowiska, wywołuje negatywną reakcję [2]. Ponadto reakcja ludzi na hałas generowany przez turbiny wiatrowe jest silnie związana ze sposobem przeprowadzenia tzw. konsultacji społecznych. Jeśli lokalizacja farmy wiatrowej była poprzedzona rzetelnymi konsultacjami i uzgodnieniami społecznymi, odczucie dokuczliwości hałasu jest mniejsze. Fakt ten potwierdzili w swoich badaniach autorzy pracy [33]. Z tej samej pracy pochodzi inny przykład, gdzie ludzie zaczęli się skarżyć na hałas, powodowani arogancją operatora turbin wiatrowych i wspomagających jego działanie władz lokalnych.

Zakłócenie snu. Zakłócenie snu spowodowane działaniem hałasu może manifestować się w różny sposób: trudnościami w zasypianiu, przebudzeniami, porannym uczuciem zmęczenia itd. Przegląd wszystkich efektów związanych z zakłóceniem snu przez hałas zamieszczono w dokumencie [34], zawierającym dopuszczalne poziomy hałasu, których przekroczenie wywołuje negatywne skutki oddziaływania hałasu na sen. Według tego dokumentu, zakłada się, że maksymalny dopuszczalny poziom pojedynczego wydarzenia hałasowego wewnątrz pomieszczenia (sypialni) nie może przekraczać (w zależności od efektu) wartości z zakresu od 32 do 42 dB (A). Ponieważ fasada budynku lub otwarte okno redukuje poziom hałasu przynajmniej o 10 dB, maksymalny zewnętrzny poziom musi być znajdować się w przedziale od 42 do 50 dB (A). Jest oczywiste, że średni poziom w nocy jest niższy niż w dzień. Jeśli więc dopuszczalny poziom hałasu w nocy odnieść do tzw. uśrednionego zewnętrznego poziomu hałasu, to próg, który nie powinien być przekroczony, zawiera się w przedziale od 40 do 42 dB (A). Biorąc pod uwagę indywidualne różnice w odczuciu hałasu, można przyjąć, że granica 40 dB(A) jest tą wartością progową, poniżej której nie obserwuje się negatywnych skutków oddziaływania hałasu na organizm człowieka w czasie snu. Zakłócenie snu było oceniane zarówno w szwedzkich, jak i w holenderskich badaniach. Podsumowano je w pracy [35] w postaci zależności przedstawionej na rys. 16, pokazującym procent respondentów, których sen był świadomie zakłócony przynajmniej raz w miesiącu, poprzedzającym badania, w funkcji poziomu hałasu, L_N .

Jak widać, procent ludzi, którym hałas zakłóca sen, wyraźnie zależy od poziomu tego hałasu, L_N . Wskazano również, że inny jest sposób reagowania na hałas nocny przez ludzi mieszkających w tzw. przemysłowym otoczeniu, a inny przez ludzi mieszkających w „cichej okolicy”. W obydwu przypadkach zależność zakłócenia snu od poziomu dźwięku nie była statystycznie istotna. Autorzy twierdzą, że jeśli poziom hałasu generowany przez turbiny wiatrowe nie będzie



Rys. 16. Procent mieszkańców, którym hałas przeszkadzał (ocena świadoma) we śnie przynajmniej raz w miesiącu poprzedzającym to badanie [35]

wywoływał wrażenia dokuczliwości, to nie będzie przeszkadzał również w czasie snu. Zatem zakłócenia snu są pochodną oceny dokuczliwości wywoływanej przez hałas turbin wiatrowych.

Inne efekty zdrowotne. Jest oczywiste, że hałas turbin wiatrowych może przeszkadzać w komunikacji słownej. Według dokumentu [7], hałas w pomieszczeniu nie powinien przekraczać 35 dB(A), gdyż tylko w takich warunkach ludzie będący w odległości 1 m mogą się swobodnie ze sobą komunikować bez podnoszenia głosu. Zakładając odpowiednią izolacyjność fasady budynku, oznacza to, że hałas rzędu 50 dB(A) na zewnątrz budynku również nie będzie zakłócać komunikacji słownej pomiędzy ludźmi znajdującymi się wewnątrz. Istnieją próby powiązania wpływu hałasu turbin wiatrowych na zdrowie psychiczne, działanie i zachowanie się ludzi mieszkających w pobliżu turbin wiatrowych. Symptomy chorobowe, które w tych okolicznościach się wymienia, występują, jeśli człowiek jest generalnie poddany działaniu stresu. Nie ma wystarczających dowodów, aby oddzielać tego typu symptomy spowodowane turbiną wiatrową (jako potencjalnym źródłem stresu) od stresu powodowanego innymi sytuacjami życiowymi. Dopóki takich danych nie ma, trudno jednoznacznie stwierdzić, że hałas turbin wiatrowych negatywnie wpływa na nasze zdrowie psychiczne.

Jest sprawą niepodlegającą dyskusji, że dowolne źródło dźwięku może wpłynąć pozytywnie bądź negatywnie na jakość życia. W świecie bada się tzw. jakość życia (QoL) przy pomocy odpowiednich kwestio-

nariuszy, nazywanych skrótowo HRQoL. Wyniki tego typu badań w Nowej Zelandii przedstawiono w pracy [36], gdzie porównano odpowiedzi dwóch grup respondentów, mieszkających w odległości 2 i 8 km od farmy wiatrowej. Oceny dotyczące jakości życia uzyskane w grupie osób mieszkających bliżej turbiny były zdecydowanie niższe w porównaniu do grupy kontrolnej (8 km od turbiny). Najniższe oceny wystąpiły przy pytaniach dotyczących percypowanej jakości snu („How satisfied are you with your sleep?”, czyli „Jak bardzo zadowolony jesteś ze swojego snu?”) oraz ocenianego przez siebie poziomu energii („Do you have enough energy for everyday life?”, czyli „Czy masz wystarczająco dużo energii do codziennego życia?”). Równie niskie oceny (w grupie bliżej turbiny) wystąpiły dla pytań dotyczących środowiska („How healthy is your physical environment?”, czyli „Jak zdrowe jest Twoje fizycznie Cię otaczające środowisko?”) oraz indywidualnej przestrzeni („How satisfied are you with the conditions of your living place?”, czyli „Na ile jesteś usatysfakcjonowany warunkami, w których mieszkasz?”).

Podsumowanie

Hałas turbin wiatrowych wydaje się być bardziej dokuczliwy od innych typowych źródeł hałasu. Akustyczne i nieakustyczne czynniki tłumaczą ten fakt. Prawdopodobnie najbardziej istotnym czynnikiem są fluktuacje amplitudowe. Również nieprzewidywalność tego hałasu, brak kontroli poziomu, brak równowagi w korzyściach i stratach wynikających z mieszkania w pobliżu turbin wiatrowych są istotnymi czynnikami mającymi wpływ na ocenę dokuczliwości, zarówno słuchową, jak i wzrokową, tego hałasu.

Przyczyny, dla których wartości poziomu hałasu L_{AeqT} , czy L_{DWN} nie są właściwą miarą zwiększonej dokuczliwości hałasu turbin wiatrowych, oprócz obecności modulacji amplitudowej, to ponadto brak precyzji w:

- metodach obliczeniowych na etapie lokalizacji farmy wiatrowej,
- metodach pomiarowych poziomu hałasu podczas monitoringu hałasu farmy.

Ten ostatni mankament wiąże się z zakazem pomiarów hałasu przy prędkości wiatru większej niż 5 m/s (brak standardowych osłon mikrofonowych). Oznacza to, że tak naprawdę nie wiemy, jaki poziom hałasu generuje turbina wiatrowa pracująca przy prędkościach wiatru większych od 5 m/s. Jeśli nie wiemy, jaki jest poziom hałasu w takich warunkach, to również wątpliwe jest, czy możemy orzekać o przekroczeniu poziomów dopuszczalnych generowanych przez turbiny wiatrowe.

Literatura

- [1] F. Van den Berg, E. Pedersen, J. Bouma, R. Bakker, *Windfarm perception: Visual and acoustic impact of wind turbine of wind turbine farms on residents*, Report FP6-2005-Science-and-Society-20. University of Groningen, Groningen, The Netherlands and University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden 2008.
- [2] E. Pedersen, F. van den Berg, R. Bakker, J. Bouma, *Response to noise from modern wind farms in The Netherlands*, J. Acoust. Soc. Am. 126 (2009), 634–643.
- [3] E. Pedersen, P. Larsman, *The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines*, J. Environ. Psychol. 28 (2008), 379–389.
- [4] E. Pedersen, K. Persson Waye, *Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship*, J. Acoust. Soc. Am. 116 (2004), 3460–3470.
- [5] F. Van den Berg, *Criteria for wind farm noise: Lmax and Lden*, in Proceedings of the 7th European Conference on Noise Control, EURONOISE, Acoustics, Paris, France 2008.
- [6] *Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku*, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:EN:PDF> (dostęp: styczeń 2008). Dziennik Urzędowy Wspólnoty Europejskiej, L 189, 12–25.
- [7] WHO, 2000. *Guidelines for Community Noise*, (B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela, eds) World Health Organization, Geneva. www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html (dostęp: 18 października 2004).
- [8] *Acoustics – assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustical surveys*, International Standard, ISO/TS 15666:2003(E), International Organization for Standardization, 2003.
- [9] A. Preis, T. Kaczmarek, H. Wojciechowska, J. Żera, M. Fields, *Polish version of the standardized noise reaction questions for community noise surveys*, International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health 16 (2003), nr 2, 155–159.
- [10] M. Wolsink, M. Sprengers, A. Keuper, T. H. Pedersen, C. A. Westra, *Annoyance from wind turbine noise on sixteen sites in three countries*, Proc. European Community Wind Energy Conference, Lubeck, Travemunde, Germany 8–12.03.1993.
- [11] E. Pedersen, K. Persson Waye, *Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response*

- relationship, J. Acoust. Soc. Am. 116 (2004), 3460–3470.
- [12] E. Pedersen, K. Persson Waye, *Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments*, Occ. Environ. Med. 64 (2007), 480–486.
- [13] S. A. Janssen, H. Vos, A. R. Eisses, E. Pedersen, *A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources*, J. Acoust. Soc. Am. 130 (2011), nr 6, 3746–3753.
- [14] D. Bowdler, G. Leventhall, *Wind Turbine Noise*, EdMulti-Science Publishing, Co. Ltd, Essex, 2012.
- [15] H. M. E. Miedema, C. G. M. Oudshoorn, *Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals*, Environmental Health Perspectives 109 (2001), nr 4, 409–416.
- [16] H. M. E. Miedema, H. Vos, *Noise annoyance from stationary sources: relationships with exposure metrics day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals*, Journal Acoustical Society of America 116 (2004), nr 1, 334–343.
- [17] J. N. McCabe, *Detection and quantification of amplitude modulation in wind turbine noise*, Meeting on Wind Turbine Noise, Rome, Italy 2011.
- [18] A. T. Moorhouse, D. C. Waddington, M. D. Adams, *The effect of fluctuations on the perception of low frequency sound*, Journal of low frequency noise, vibration and active control 26 (2007), nr 2, 81–89.
- [19] M. Hayes, *The measurement of low frequency noise at three UK wind farms*, Hayes Mckenzie Partnership Ltd, report to the Department of Trade and Industry, UK 2006.
- [20] F. Van den Berg, *Why is wind turbine noise noisier than other noise?*, Proceedings of the 8th European Conference on Noise Control, EURONOISE, Edinburgh, UK 2009.
- [21] H. Fastl, E. Zwicker, *Psychoacoustics, Facts and Models*, Springer Verlag, Berlin, Germany 2007.
- [22] G. P. Van den Berg, *The beat is getting stronger: the effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines*, Journal of low frequency noise vibration and active noise control 24 (2005), nr 1.
- [23] K. Persson Waye, E. Öhrström, *Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of wind turbine noise*, J. Sound Vib. 250 (2002), 65–73.
- [24] S. Oerlemans et al., *Location and quantification of noise source on wind turbine noise*, J. Sound Vib. 299 (2007), 869–883.
- [25] B. J. Frey, P. J. Hadden, *Noise radiation from wind turbines installed near homes: effects on health*, www.windturbinenoisehealthhumanrights.com 2007 (dostęp: październik 2008).
- [26] N. Pierpont, *Wind Turbine Syndrome – A report on a natural experiment*, K-Selected Books, Santa Fe, USA 2009.
- [27] A. N. Salt, T. E. Hullar, *Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines*, Hearing Research 268 (2010), 12–21.
- [28] F. Van den Berg, *Criteria for wind farm noise: Lmax and Lden*, Proc. Acoustics, Paris, France 2008.
- [29] E. Pedersen, *Human response to wind turbine noise: Perception, annoyance and moderating factors*, rozprawa doktorska, Goteborg University 2007.
- [30] M. Masullo, G. Iannace, S. Basturk, L. Maffei, V. P. Senesce, F. Ruotolo, *The influence of vision on noise annoyance evaluation of wind farms*, Proc. 4th Int. Meeting on Wind Turbine Noise, Rome, Italy 2011.
- [31] S. E. Taylor, R. L. Repetti, *Health psychology: what is an unhealthy environment and how does it get under the skin?*, Annual Review of Psychology 48 (1997), 411–447.
- [32] E. Maris, P. J. Stallen, R. Vermunt, H. Steensma, *Noise within the social context: Annoyance reduction through fair procedures*, Journal Acoustical Society of America 121 (2007), nr 4, 2000–2010 oraz 117–125.
- [33] D. Bowdler, *Why turbine noise annoys?*, Proc. 4th Int. Meeting on Wind Turbine Noise, Rome, Italy 2011.
- [34] WHO Regional Office for Europe, 2009. *Night noise guidelines for Europe*, www.euro.who.int/Document/E92845.pdf (dostęp: grudzień 2009), Copenhagen, World Health Organization.
- [35] S. A. Janssen, H. Vos, A. R. Eisses, *Hinder door geluid van windturbines – dosis-effectrelaties op basis van Nederlandse en Zweedse gegevens (Annoyance from wind turbine sound – dose-effect relations based on Dutch and Swedish data – w języku holenderskim)*, TNO-report 2008-D-R1051/B, Delft 2008.
- [36] D. Shepherd, D. McBride, D. Welch, K. N. Dirks, E. M. Hill, *Wind turbine noise and health-related quality of life of nearby residents: a cross-sectional study in New Zealand*, Proc. 4th Int. Meeting on Wind Turbine Noise, Rome, Italy 2011.

Psychofizyczne i fizyczne metody badań słuchu

Andrzej Wicher, Aleksander Sęk

Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Wprowadzenie

Psychofizyczne metody badań słuchu dotyczą określenia zależności pomiędzy fizycznymi parametrami fali akustycznej a wrażeniem dźwiękowym, powstającym na skutek stymulacji układu słuchowego sygnałem akustycznym. Do tego rodzaju badań zalicza się przede wszystkim audiometrię tonalną, która polega na określeniu progu słyszenia i progu dyskomfortu przy zastosowaniu dźwięków tonalnych o częstotliwościach z zakresu od 0,125 kHz do 8 kHz. Wynik tego podstawowego badania przedstawia dynamikę słuchu w danym zakresie częstotliwości, natomiast nie odzwierciedla innych, nie mniej ważnych właściwości układu słuchowego, do których należy zaliczyć przede wszystkim selektywność częstotliwościową. Polega ona na spostrzeganiu/ocenie jednego dźwięku na tle innego, a w przypadku prezentowania dźwięku złożonego – na możliwości przyporządkowania mu różnych wysokości odpowiadających jego składowym. Najlepszym przykładem z życia codziennego, odzwierciedlającym tę właściwość słuchu, jest percepcja mowy na tle innych zakłóceń, takich jak hałas otoczenia lub dźwięki mowy pochodzące od innych osób. Procesy związane z selektywnością częstotliwościową zachodzą przede wszystkim w ślimaku ucha wewnętrznego. Błona podstawna dokonuje bowiem pewnej formy analizy częstotliwościowej, która może być opisana za pomocą transformaty Fouriera. Jej funkcjonowanie w odpowiedzi na stymulację akustyczną przypomina filtrowanie sygnału za pomocą zestawu filtrów pasmowoprzepustowych o ściśle określonych charakterystykach. Zestaw tych filtrów nazywany jest bankiem filtrów słuchowych. Każdej częstotliwości dźwięku przypisany jest ściśle określony punkt na błonie podstawnej, w którym fala o tej częstotliwości wywołuje jej maksymalną aktywność. Każdy punkt tej błony może być rozpatrywany jako filtr pasmowoprzepustowy. To ściśle przyporządkowanie miejsca do często-

tliwości nosi nazwę tonotopowości: dźwięki o dużej częstotliwości stymulują błonę podstawną blisko początku ślimaka, a o małej – bliżej końca. Funkcję przetwornika drgań błony podstawnej na impulsy czynnościowe pełnią komórki słuchowe (rzęsate), które znajdują się w organie Cortiego, umieszczonym wzdłuż całej błony podstawnej. W narządzie tym znajdują się dwa rodzaje komórek słuchowych: wewnętrzne komórki słuchowe (*inner hair cells*, IHCs) oraz zewnętrzne komórki słuchowe (*outer hair cells*, OHCs). Wewnętrzne komórki słuchowe generują potencjały czynnościowe, które poprzez aferentne (dośrodkowe) połączenia układu słuchowego stymulują pola słuchowe kory mózgowej, warunkując powstanie wrażenia słuchowego. Natomiast zewnętrzne komórki słuchowe, dzięki swej elektrokurczliwości, wpływają na mikromechanikę błony podstawnej, zwiększając dynamikę słyszenia. Odgrywają też najistotniejszą rolę w procesie słyszenia najcichszych dźwięków i decydują w znacznej mierze o selektywności częstotliwościowej słuchu [1]. Dźwięki o określonej częstotliwości, poprzez drgania błony podstawnej, pobudzają komórki słuchowe z pewnego obszaru narządu Cortiego. Uszkodzenia określonej grupy IHCs skutkują brakiem przekazywania informacji o sygnale w danym pasmie częstotliwości do wyższych pięter drogi słuchowej (głuchota). Uszkodzenia OHCs wpływają natomiast na podwyższenie progu słyszenia, a także istotne pogorszenie selektywności częstotliwościowej.

Badania słuchu w ich zakresie diagnostycznym można podzielić na dwie zasadnicze grupy: obiektywne i subiektywne. Badania subiektywne są typowymi badaniami psychofizycznymi, wiążącymi się z czynnym udziałem pacjenta. Audiometria tonalna czy też analiza selektywności częstotliwościowej w oparciu o wyznaczenie psychofizycznych krzywych strojenia [2, 3] to typowe badania subiektywne. W badaniach obiektywnych analizowane są natomiast potencjały wywołane dźwiękiem w różnych częściach drogi słu-

chowej bądź też dźwięki wytwarzane przez układ słuchowy (spontaniczne lub wywołane otoemisje akustyczne), których źródłem są procesy zachodzące w ślimaku ucha wewnętrznego.

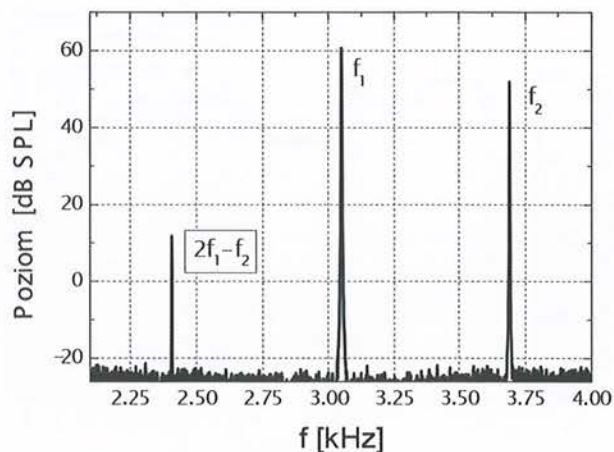
Zasadniczym celem pracy jest przedstawienie i porównanie wybranych fizycznych i psychofizycznych metod badań słuchu na przykładzie pomiarów zniekształceń nieliniowych w produktach otoemisji akustycznej (*distortion products otoacoustic emissions*, DPOAE) oraz na przykładzie wyznaczania psychofizycznych krzywych strojenia (*psychophysical tuning curves*, PTC), stanowiących estymatę charakterystyki filtra słuchowego. Badania te przeprowadzono w Instytucie Akustyki UAM, gdzie są one ciągle rozwijane i mają na celu szczegółową analizę zjawisk związanych z procesami słyszenia, a przede wszystkim doskonalenie metod diagnozowania słuchu.

Otoemisje akustyczne produktów zniekształceń nieliniowych (DPOAE)

Jednym z najważniejszych rodzajów otoemisji akustycznej są tzw. otoemisje akustyczne produktów zniekształceń nieliniowych (DPOAE), które występują niemal u wszystkich osób w zakresie częstotliwości, gdzie nie obserwuje się ubytków słuchu. Jeśli sygnałem stymulującym układ słuchowy jest dwuton o ustalonych częstotliwościach f_1 i f_2 oraz poziomach L_1 i L_2 , to za pomocą czułego mikrofonu, umieszczonego możliwie najbliżej błony bębenkowej, oprócz sygnałów o częstotliwościach f_1 i f_2 rejestruje się również sygnał o częstotliwości $2f_1 - f_2$ [4]. Poziomy ciśnienia akustycznego sygnałów otoemisji ($2f_1 - f_2$) są niewielkie, sięgając ledwie kilku dB SPL. Jednak dzięki zastosowaniu wielokrotnej ekspozycji bodźca oraz uśredniania koherentnego [5], umożliwiającą redukcję mocy zakłócającego szumu, pomiar taki jest możliwy dla dźwięków o poziomach nawet -20 dB SPL.

Na rys. 1 zamieszczono przykładowe widmo sygnału zarejestrowanego przez mikrofon pomiarowy umieszczony w przewodzie słuchowym.

Produkty zniekształceń sygnałów otoemisji akustycznej są typowymi zniekształceniami intermodulacyjnymi i szczegółowa analiza zarejestrowanych w kanale słuchowym sygnałów pozwala na stwierdzenie składowych nieliniowych o innych częstotliwościach ($nf_1 - mf_2$), z których wspomniana wyżej składowa ma zdecydowanie największy poziom [4]. Źródłem tych zniekształceń jest funkcjonowanie zewnętrznych komórek rzęsatych, a w szczególności efekt kurczliwości. Zakłada się, że źródło powstawania fali składowej nieliniowej ($2f_1 - f_2$) zlokalizowane jest w zakresie maksimum nakładania się obwiedni amplitudowych

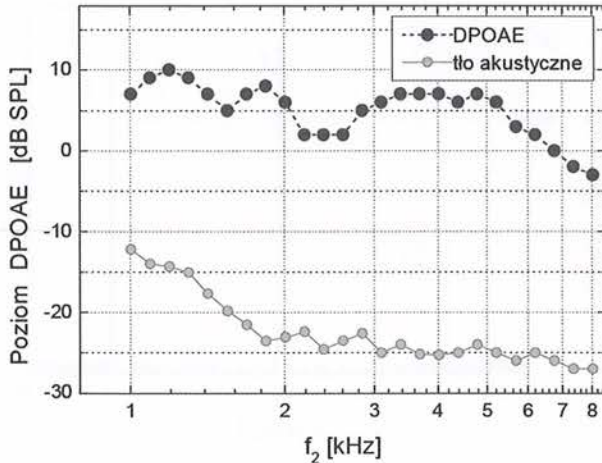


Rys. 1. Widmo sygnału zarejestrowanego w kanale słuchowym podczas pomiaru DPOAE. Oprócz składowych dwotonu widoczna jest także składowa intermodulacyjna (nieliniowa) o częstotliwości $2f_1 - f_2$

fal biegnących składowych f_1 i f_2 w ślimaku ucha wewnętrznego. Źródło to generuje falę z dwoma składowymi, z których jedna rozchodzi się w kierunku okienka owalnego, a druga w kierunku wierzchołka ślimaka, ulegając odbiciu w obszarze ślimaka odpowiadającym częstotliwości charakterystycznej $2f_1 - f_2$ i wraca w kierunku okienka owalnego. W przypadku obu składowych może dochodzić do zjawiska wielokrotnego odbicia fal wewnątrz struktur ślimaka. Wzajemne relacje fazowe tych składowych wpływają na poziom rejestrowanej w kanale ślimakowym składowej f_{DP} .

Na rys. 1 widoczne są składowe dwotonu f_1 i f_2 oraz dodatkowa składowa f_{DP} , o częstotliwości $2f_1 - f_2$, będąca produktem zniekształceń nieliniowych ślimaka. Składowa o częstotliwości f_{DP} ma z reguły największą amplitudę spośród wszystkich składowych intermodulacyjnych i jest wyznacznikiem występowania DPOAE. Badania DPOAE w warunkach klinicznych lub laboratoryjnych wykonywane są dla szerokiego zakresu częstotliwości, przy zachowaniu stałego ilorazu częstotliwości $f_2/f_1 = 1,2$ i różnicy poziomów $L_2 - L_1 = 10$ dB. Ich rezultaty przedstawia się ostatecznie w postaci tzw. DPgramu, tzn. zależności poziomu ciśnienia akustycznego składowej f_{DP} od częstotliwości f_2 . Przykładowy przebieg takiego DPgramu przedstawiono na rys. 2.

Poziom ciśnienia akustycznego składowej f_{DP} zależy od częstotliwości, jednak przebieg tej funkcji jest nieco inny dla każdej osoby ze słuchem prawidłowym. Dlatego też najczęściej stosowanym kryterium występowania DPOAE jest istnienie tej składowej o poziomie 6 dB powyżej tła akustycznego ($SNR > 6$ dB). Z rys. 2 wynika, że SNR waha się od ok. 20 do 35 dB, co oznacza, że w rozpatrywanym przypadku DPOAE występuje w całym analizowanym zakresie częstotliwości f_2 .



Rys. 2. DPgram wyznaczony dla osoby ze słuchem prawidłowym. Na rysunku zamieszczono także wartości poziomu tła akustycznego

W przypadku odbiorczych uszkodzeń słuchu z lokalizacją ślimakową brak DPOAE w danym paśmie częstotliwości oznacza ubytek słuchu większy lub równy 40 dB HL [6]. Obniżenie poziomu DPOAE obserwowano także u osób ze słuchem prawidłowym w grupie wiekowej powyżej 50. roku życia. Stwierdzono, że wyniki badań DPOAE u osób starszych bez ubytków słuchu dobrze odwzorowują procesy starzenia układu słuchowego [6].

Dość częstym schorzeniem, dotyczącym także osoby bez uszkodzeń słuchu, jest występowanie tzw. szumów usznych, czyli dokuczliwych wrażeń słuchowych (pisków, szumów) odbieranych przez daną osobę mimo braku możliwości fizycznego zarejestrowania tych sygnałów. U osób cierpiących na szumy uszne zaobserwowano obniżenie poziomu DPOAE [6]. Świadczy to tym, że za powstawanie wrażenia szumów usznych, przynajmniej częściowo, odpowiedzialne są dysfunkcje w obrębie ślimaka ucha wewnętrznego.

Pomiary DPOAE znalazły także swoje zastosowanie w badaniu eferentnej (odśrodkowej) części drogi słuchowej. Dzięki eferentnemu unerwieniu OHC istnieje możliwość oceny oddziaływania wyższych pięter drogi słuchowej na ślimak ucha wewnętrznego. Można wyróżnić zarówno ipsilateralne, jak i kontralateralne połączenia układu eferentnego. W przypadku stymulacji kontralateralnej w jednym uchu dokonywany jest pomiar DPOAE, natomiast do drugiego ucha prezentowany jest dodatkowy sygnał, najczęściej szum szerokopasmowy lub pasmo szumu. W takiej sytuacji dochodzi do zmniejszenia poziomu DPOAE na skutek oddziaływania sygnału kontralateralnego poprzez połączenia eferentne [7].

Reasumując, fizyczne pomiary DPOAE stanowią precyzyjne narzędzie do analizy funkcjonowania ślimaka ucha wewnętrznego, w szczególności zewnętrznych komórek rzęsatych, a także do oceny eferentnych połączeń układu słuchowego.

Psychofizyczne krzywe strojenia (PTC)

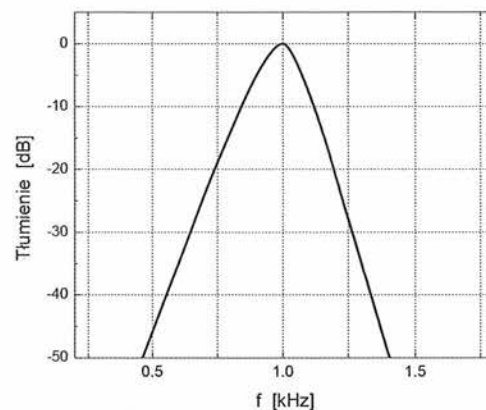
Do najważniejszych metod umożliwiających ilościową ocenę selektywności częstotliwościowej słuchu zaliczyć należy wyznaczenie charakterystyki częstotliwościowej tzw. filtrów słuchowych za pomocą metody Pattersona [8, 9] oraz wyznaczenie tzw. psychofizycznych krzywych strojenia (PTC) dla kilku częstotliwości. Częstotliwościową analizę sygnału akustycznego zachodzącą na błonie podstawnej można traktować jako filtrowanie sygnału przez zbiór pasmowoprzepustowych filtrów o określonych częstotliwościach środkowych, szerokościach pasm przepustowych i nachyleniach zboczy. Aktywność filtrów słuchowych, tj. poziomy sygnałów na wyjściach poszczególnych filtrów w funkcji ich częstotliwości środkowych, stanowi tzw. pobudzenie. Do opisu charakterystyki pojedynczego filtra słuchowego stosowana jest najczęściej funkcja typu *roex* [1, 11], której postać jest następująca:

$$roex(p, g) = (1 + pg)e^{-pg} \quad (1)$$

gdzie g jest względną dewiacją częstotliwości, równą:

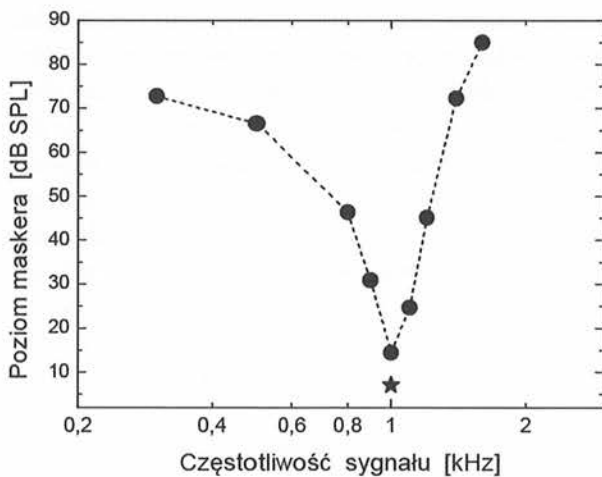
$$g = \frac{|f - f_c|}{f_c}, \quad (2)$$

f_c jest częstotliwością środkową filtra, a p – nachyleniem zboczy, odrębnie dla nisko- i wysokoczęstotliwościowej strony filtra. Przykład charakterystyki częstotliwościowej filtra słuchowego o częstotliwości środkowej 1 kHz przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Charakterystyka filtra słuchowego o częstotliwości środkowej 1 kHz

Klasyczna metoda wyznaczania psychofizycznej krzywej strojenia polega na wyznaczeniu progów spostrzegania sygnału tonalnego na tle wąskiego pasma szumu w funkcji częstotliwości środkowej tego pasma. Ton podlegający detekcji ma ustalone parametry, tzn. częstotliwość oraz stały poziom równy 10 dB SL (tj. 10 dB powyżej progu słyszenia). Częstotliwości środkowe pasma szumu dobiera się tak, aby uzyskać pomiar progu spostrzegania tonu na tle maskera dla częstotliwości w zakresie od ok. 1 oktawy poniżej częstotliwości sygnału do ok. 0,5 oktawy powyżej częstotliwości sygnału [12]. Na rys. 4 przedstawiono przykład PTC dla osoby ze słuchem prawidłowym. Minimum tej krzywej przypada na częstotliwość równą częstotliwości sygnału, którego parametry (częstotliwość i poziom) ilustruje gwiazdka.



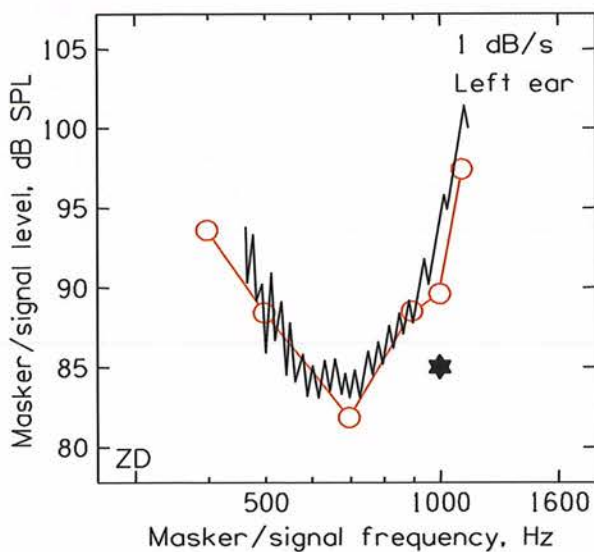
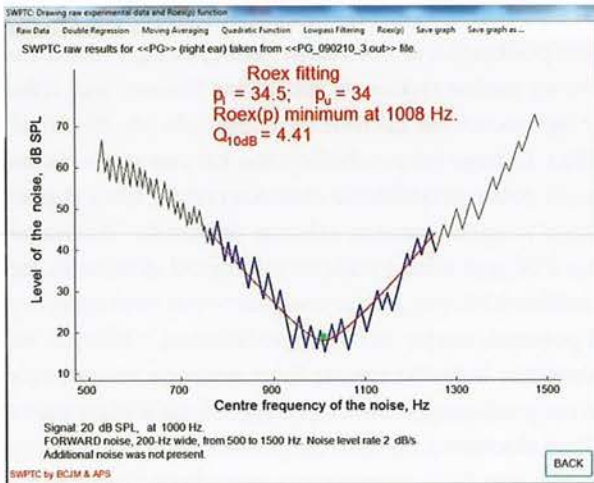
Rys. 4. Psychofizyczna krzywa strojenia dla osoby ze słuchem prawidłowym (częstotliwość sygnału wynosiła 1 kHz)

Zwiększanie różnicy pomiędzy częstotliwością środkową pasma szumu i sygnału prowadzi do coraz mniejszej efektywności maskera. Oznacza to, że aby zamaskować sygnał pasmem szumu o częstotliwości środkowej np. 500 Hz, jego poziom powinien wynosić ok. 70 dB SPL. Natomiast gdy częstotliwości maskera i sygnału są równe, wówczas wystarczający będzie poziom maskera ok. 15 dB SPL. Psychofizyczna krzywa strojenia odwzorowuje więc poziom maskera, który w miejscu pobudzenia błony podstawnej przez ton wywołuje zawsze ten sam skutek, tj. zaledwie maskuje ton. Zatem wyznaczanie tej krzywej jest pomiarem charakterystyki częstotliwościowej pojedynczego punktu błony podstawnej, polegającym na zmianach poziomu sygnału wejściowego (pasmo szumu) w taki sposób, by na wyjściu obserwować zawsze sygnał o takich samych parametrach (lub taki sam efekt, czyli maskowanie tonu). Zakładając liniowość analizowanego układu, odwrócenie tak uzyskanej krzywej stano-

wi jego charakterystykę częstotliwościową. Warto przy tym podkreślić, że normalnie funkcjonujący układ słuchowy można traktować jako układ liniowy, lecz tylko w ograniczonym zakresie dynamiki (do ok. 40–50 dB SPL). Dlatego też psychofizyczna krzywa strojenia stanowi dobre przybliżenie charakterystyki filtra słuchowego w ograniczonym zakresie dynamiki. Wyznaczenie PTC jest jedną z najlepszych metod określania częstotliwościowych granic tzw. martwych obszarów, czyli pewnych miejsc na błonie podstawnej, z których wewnętrzne komórki rzęsaty lub/i neurony unerwiające je nie przekazują informacji o sygnale na wyższe piętra drogi słuchowej, co ilustruje prawa strona rys. 5. Na rysunku tym PTC, wyznaczona metodami klasycznymi, zaznaczona jest kolorem czerwonym, a czarna linia łamana ilustruje rezultat pomiaru za pomocą procedury SWPTC (patrz rys. 5). Dla sygnału tonalnego, którego częstotliwość przypada na martwy obszar (gwiazdka na prawej stronie rys. 5), minimum krzywej strojenia jest przesunięte w kierunku granicy tego obszaru. Zdiagnozowanie granic martwych obszarów pozwala na dopasowanie charakterystyki wzmocnienia układu słuchowego tak, by nie wzmacniać sygnału akustycznego w tym zakresie częstotliwości, bowiem prowadzi ono do pogorszenia zrozumiałości mowy i komfortu życia osoby używającej aparat słuchowy.

Stosowanie klasycznych metod wyznaczania psychofizycznych krzywych strojenia przy wykorzystaniu metody dwualternatywnego wymuszonego wyboru jest czasochłonne (ok. 2 godzin na jedną krzywą). Dyskwalifikuje to tego rodzaju procedurę do zastosowań diagnostycznych, zwłaszcza w diagnostyce martwych obszarów. Jednak w ostatnich latach w Instytucie Akustyki UAM, przy współpracy z Hearing Laboratory z Cambridge University, przygotowano procedurę pozwalającą na skrócenie tego czasu do ok. 3–4 minut. Procedura ta, tj. Sweeping Noise of Psychophysical Tuning Curve Measurement (SWPTC), bazuje na przestrajaniem w dziedzinie częstotliwości paśmie szumu w obrębie dwóch oktaw ($0,5f - 2f$) w czasie do 4 minut [3, 11, 13, 14]. Poziom pasma szumu zmienia się ze stałą, zadaną prędkością (np. 2 dB/s), a osoba badana kontroluje kierunek zmian poziomu tego pasma w taki sposób, by pulsujący ton o częstotliwości f był zaledwie słyszalny. Przykładowy rezultat pomiaru dokonanego za pomocą procedury SWPTC zamieszczono na rys. 5 (u góry), na którym łamana linia przedstawia punkty zwrotne, tzn. poziomy szumu i jego częstotliwości środkowe, dla których ton stawał się lub przestawał być słyszany przez słuchacza.

Procedura SWPTC zawiera w sobie pięć różnych metod estymowania położenia minimum PTC. Może to być regresja liniowa w odniesieniu do zboczy PTC,



Rys. 5. U góry: przykład PTC uzyskanej przy zastosowaniu programu SWPTC. Wynik dla osoby ze słuchem prawidłowym. Sygnałem był ton o częstotliwości 1 kHz i poziomie 20 dB SPL. Czerwoną linią zaznaczono dopasowane funkcje typu roex(p), na podstawie których wyznaczono PTC, wartości Q_{10} oraz częstotliwość dla minimum funkcji. Na dole: przykład PTC uzyskany dla osoby z tzw. martwym obszarem ślimaka ucha wewnętrznego

dwu- i czteropunktowa średnia, funkcja kwadratowa, dolnoprzepustowe filtrowanie czy też dopasowanie PTC za pomocą funkcji roex.

Górna część rys. 5 ilustruje pojedynczy pomiar PTC. Dane eksperymentalne przedstawione są za pomocą linii łamanej. Czerwona linia stanowi estymatę PTC uzyskaną w oparciu o dopasowanie funkcji roex (czerwona linia) do części (niebieska linia) uzyskanych rezultatów. Dopasowanie to, a także dopasowanie za pomocą innych metod estymacji dostępnych w procedurze SWPTC, umożliwi wyznaczenie dobroci funkcji PTC (Q_{10}), nachylenia zboczy filtra oraz częstotliwości, dla której PTC osiągała minimum. Oprócz niezmiernie istotnego położenia minimum PTC wzglę-

dem częstotliwości sygnału nie mniej ważnym parametrem tej krzywej jest jej dobroć, bowiem stanowi ona ilościową miarę pogorszenia selektywności częstotliwościowej słuchu. Pogorszenie to obserwuje się w przypadku uszkodzeń zewnętrznych komórek słuchowych, które prowadzą do zmniejszenia wartości Q_{10} i zmniejszenia nachyleń zboczy filtra słuchowego.

Podsumowanie

Zamieszczone w pracy przykłady diagnostycznych badań słuchu stanowią jedynie fragment szeroko rozwijanych metod diagnostyki układu słuchowego. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że pomiary zarówno produktów zniekształceń nieliniowych otoemisji akustycznych, jak i psychofizycznych krzywych strojenia są przede wszystkim nakierowane na ocenę funkcjonowania ślimaka ucha wewnętrznego. Niezaprzeczną zaletą badań otoemisji akustycznej w przypadku uszkodzeń ślimakowych jest możliwość precyzyjnego określenia pasm częstotliwości, w których doszło do dysfunkcji zewnętrznych komórek słuchowych. Ponadto badania te nie bazują na odpowiedziach osoby badanej, a jedynie na fizycznych pomiarach sygnałów akustycznych, stąd możliwość ich wykorzystania u osób niewspółpracujących. Ograniczeniem stosowności tej metody badawczej jest wielkość ubytku słuchu, tzn. dla ubytków powyżej 40 dB HL otoemisja akustyczna nie jest rejestrowana.

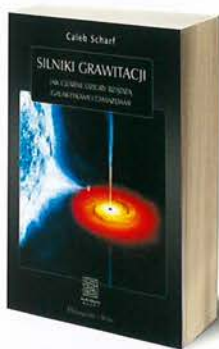
Pomiar i analiza psychofizycznych krzywych strojenia jest doskonałą metodą umożliwiającą ilościową ocenę selektywności częstotliwościowej słuchu. Dzięki opracowaniu tzw. szybkiej metody pomiaru tej funkcji (procedura SWPTC) istnieje możliwość zastosowania tego badania w powszechnej diagnostyce słuchu, w szczególności w diagnozowaniu martwych obszarów ślimaka ucha wewnętrznego oraz w ilościowej ocenie selektywności częstotliwościowej słuchu. Program SWPTC dostępny jest na stronie www Instytutu Akustyki pod adresem http://www.ia.amu.edu.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=56.

Literatura

- [1] W.E. Brownell, *Observations on a motile response in isolated outer hair cells* [w:] W.R. Webster, L.M. Aitken (red.), *Mechanisms of Hearing*, Monash University Press, Victoria (Australia) 1983, 5–10.
- [2] B.C. Moore, *Psychophysical tuning curves measured in simultaneous and forward masking*, *J Acoust Soc Am* 63 (1978), 524–532.

- [3] A. Sęk, J. Alcantara, B. C. Moore, K. Kluk, A. Wicher, *Development of a fast method for determining psychophysical tuning curves*, *Int J Audiol* 44 (2005), 408–420.
- [4] M. S. Robinette, T. J. Glattke, *Otoacoustic Emissions Clinical Applications*, Thieme Medical Publishers Inc. Nowy Jork 2007.
- [5] R. G. Lyons, *Signal Averaging* [w:] P. Donovan (red.), *Understanding Digital Signal Processing*, Bernard Goodwin. New Jersey 2004, 411–438.
- [6] E. Ozimek, A. Wicher, W. Szyfter, E. Szymiec, *Distortion product otoacoustic emission (DPOAE) in tinnitus patients*, *J Acoust Soc Am* 119 (2006), 527–538.
- [7] A. Wicher, *Ocena wpływu stymulacji kontralateralnej na otoemisję akustyczne produktów zniekształceń nieliniowych (DPOAE) i efekt maskowania*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2014.
- [8] R. D. Patterson, *Auditory filter shape*, *J Acoust Soc Am* 55 (1974), 802–809.
- [9] R. D. Patterson, B. C. J. Moore, *Auditory filters and excitation patterns as representations of frequency resolution* [w:] B. C. J. Moore (red.), *Frequency Selectivity in Hearing*. Academic. Londyn 1986, 123–177.
- [10] B. R. Glasberg, B. C. Moore, *Derivation of auditory filter shapes from notched-noise data*, *Hear Res* 47 (1990), 103–138.
- [11] A. Sęk, A. Wicher, S. Drgas, *A fast method for the determination of psychophysical tuning curves: further refining*, *Archives of Acoustics* 32 (2007), 707–728.
- [12] B. C. Moore, J. I. Alcantara, *The use of psychophysical tuning curves to explore dead regions in the cochlea*, *Ear Hear* 22 (2001), 268–278.
- [13] A. Sęk, B. C. Moore, *Implementacja szybkiej metody wyznaczania psychofizycznych krzywych strojenia na komputerze klasy PC*, *Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Protetyków Słuchu* 42 (2011), 17–26.
- [14] A. Sęk, B. C. Moore, *Implementation of a fast method for measuring psychophysical tuning curves*, *Int. J. Audiol.* 50 (2011), 237–242.

K S I A ̇ Ż K I N A D E S Ł A N E



Caleb Scharf

Silniki grawitacji. Jak czarne dziury rządzą galaktykami i gwiazdami

Pruszyński i S-ka, Warszawa 2014

Czarne dziury zawsze były przedmiotem szczególnej fascynacji. Dziwne, niszczyielskie, zaginające czasoprzestrzeń, pożerające wszystko monstra dostarczały niekończącej

się pożytki pracom zarówno naukowym, jak i literackim. Pracując nad coraz doskonalszym wizerunkiem Wszechświata, astronomowie odkryli, że czarne dziury nie tylko stanowią ważny, jeśli nie najważniejszy, element na mapie kosmosu, ale wiele z nich jest przerażająco głośnych, wręcz hałaśliwych. Są to szalone, wyzywające i pobudzające wyobraźnię odkrycia, których dokonano dzięki zaangażowaniu najpotężniejszych i najbardziej błyskotliwych idei ludzkiego umysłu – idealny materiał na bohatera bestsellera.

Czarne dziury to silniki grawitacyjne – najwydajniejsze generatory energii w całym kosmosie. Z tego powodu odegrały kluczową rolę w kształtowaniu Wszechświata. To jedna z najbardziej niezwykłych i najdziwaczniejszych cech natury, na jakie się natknęliśmy: czarne

dziury, będące najbardziej destrukcyjnymi i niedostępnymi obiektami we Wszechświecie, okazują się również obiektami o fundamentalnym znaczeniu.

Silniki grawitacji Caleba Scharfa to intrygująca i błyskotliwa opowieść o tym, czego dowiedzieliśmy się o czarnych dziurach i co spodziewamy się jeszcze odkryć.

Caleb Scharf jest dyrektorem Centrum Astrobiologii na Uniwersytecie Columbia. Jego artykuły pojawiają się w *Scientific American*, *New Scientist*, *Science* i *Nature*. Jest także konsultantem m.in. Discovery Channel, Science Channel i *New York Timesa*. Jest też autorem książki *Extrasolar Planets and Astrobiology*, która w 2011 r. przyniosła mu nagrodę Chambliss Astronomical Writing Award, przyznaną przez American Astronomical Society.

Ultradźwięki jako narzędzie badań nanomateriałów

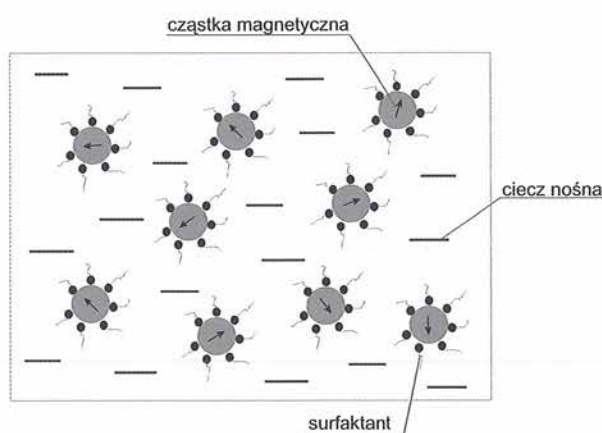
Tomasz Hornowski, Arkadiusz Józefczak, Andrzej Skumiel

Zakład Akustyki Molekularnej, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Rozchodzeniem się fal ultradźwiękowych i słyszalnych rządzą te same prawa fizyczne, a tym, co je różni, jest przede wszystkim częstotliwość. Ta pozornie drobna różnica ma ogromne konsekwencje praktyczne. Fale sprężyste o dużych częstotliwościach dają się łatwo kształtować w wąskie wiązki, co umożliwia ich wykorzystanie do kierunkowego sondowania właściwości ośrodka lub aktywnego wpływu na jego stan za pomocą temperatury lub nieliniowych zjawisk w rodzaju kawitacji.

Właściwości ośrodka badanego za pomocą fal ultradźwiękowych ocenia się na podstawie wartości stałych propagacji fali (prędkości i tłumienia) oraz ich zmian w funkcji temperatury, częstotliwości i innych parametrów fizycznych. Podstawowym urządzeniem służącym do badań ultradźwiękowych jest spektrometr ultradźwiękowy, który wysyła krótkie sygnały impulsowe i odbiera je po przebyciu określonej odległości w ośrodku, mierząc ich współczynnik tłumienia oraz prędkość propagacji. Spektrometry ultradźwiękowe wykorzystują zazwyczaj fale z przedziału częstotliwości od 1 do 100 MHz o dostatecznie małej energii, które nie wywołują aktywnych zmian w ośrodku. Choć spektroskopia ultradźwiękowa opiera się na względnie prostych zasadach, wyznaczenie poszukiwanych właściwości ośrodka na podstawie analizy danych ultradźwiękowych wymaga często wykorzystania złożonych modeli teoretycznych. Postęp w technice obliczeniowej w ostatnich dekadach pozwolił jednak przewyciężyć tę trudność.

W Zakładzie Akustyki Molekularnej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu od kilkunastu lat z powodzeniem stosuje się fale ultradźwiękowe do badania właściwości nanomateriałów, a zwłaszcza cieczy magnetycznych. Ciecze magnetyczne należą do nowych materiałów magnetycznych, które obok cech charakterystycznych dla cieczy mogą też posiadać niewielką sztywność mechaniczną, nadającą ośrodkowi cechy ciała stałego. Ze względu na swoje specyficzne



Rys. 1. Przykładowa struktura cieczy magnetycznej

właściwości makroskopowe i możliwość zdalnego kontrolowania ich parametrów za pomocą pola magnetycznego ciecze magnetyczne znalazły wiele zastosowań w takich dziedzinach jak precyzyjny transport leków (*magnetic drug targeting*), obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego, gdzie ciecze magnetyczne są używane jako środek kontrastujący, magnetyczna separacja komórek czy magnetyczna hipertermia.

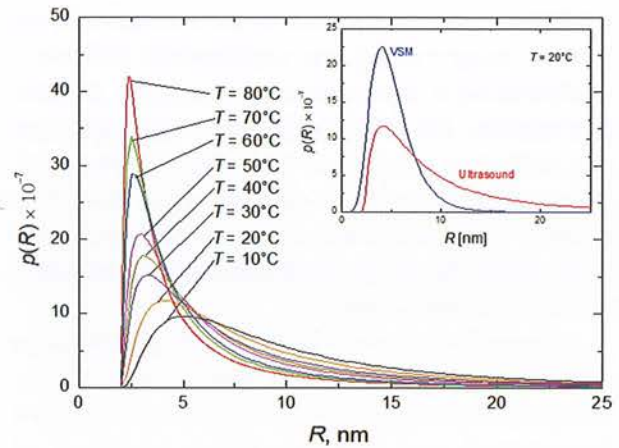
Ciecze magnetyczne są koloidalnymi zawiesinami cząstek magnetycznych w cieczy nośnej w rodzaju wody, nafty, olejów i innych. Typowe średnice takich cząstek magnetycznych mieszczą się w przedziale 5–10 nm i dzięki swym małym wymiarom unoszą się w zawiesinie pod wpływem ruchów termicznych. Dla uniknięcia agregacji, czyli łączenia się cząstek w większe struktury, ich powierzchnię pokrywa się cząsteczkami substancji powierzchniowo czynnej (rys. 1). W idealnej cieczy magnetycznej nanocząstki oddziałują jedynie z zewnętrznym polem magnetycznym, natomiast nie oddziałują ze sobą. W rzeczywistej cieczy magnetycznej oddziaływanie typu dipol–dipol powoduje jednak, że część cząstek magnetycznych łączy się w łańcuchowe lub sferyczne agregaty o wymiarach znacznie większych od rozmiarów pojedynczych cząstek magnetycz-

nych. Powstające agregaty mogą zawierać ponad 10^6 cząstek i osiągać rozmiary do kilku mikrometrów, co pozwala zaliczyć cieczy magnetyczne do materii miękkiej ze złożoną wewnętrzną mikrostrukturą.

Powstawanie agregatów i mikrostruktury prowadzi do gwałtownych zmian właściwości makroskopowych cieczy magnetycznych, na przykład pojawienia się anizotropii ultradźwiękowej czy wzrostu lepkości w zewnętrznym polu magnetycznym. Znajomość tych procesów odgrywa istotną rolę przy planowaniu technicznych i medycznych zastosowań takich ośrodków. Na przykład przy zastosowaniu cieczy magnetycznych w terapii celowanej zbyt duże agregaty mogą blokować przepływ krwi w naczyniach włosowatych. Z drugiej strony większe agregaty można wykorzystać do spowolnienia lub zatrzymania wzrostu guzów poprzez blokowanie formowania naczyń krwionośnych i „załodzenie” guzów. Szczególne znaczenie mają więc biokompatybilne cieczy magnetyczne, czyli takie, w których ciecz nośną stanowi woda lub płyny fizjologiczne. Materiał magnetyczny to zwykle nietoksyczny magnezyt lub maghemit, substancję powierzchniowo-czynną stanowią zaś biokompatybilne (np. PEG, dekstran, BSA), a nawet biodegradowalne cząsteczki organiczne. Otrzymywanie biokompatybilnych nanocząstek magnetycznych znajduje się w centrum zainteresowania nowoczesnej nanotechnologii. Oprócz klasycznych, chemicznych metod ich syntezy coraz większego znaczenia nabierają metody biosyntezy. Przykładem mogą być magnetosomy, czyli wypreparowane z komórek bakterii *Magnetospirillum magnetotacticum* biogeniczne łańcuchy nanokryształów magnezytu, otoczone membraną fosfolipidową. Uzyskane w ten sposób nanocząstki są w naturalny sposób biokompatybilne, przez co mają duży potencjał aplikacyjny.

W świetle zastosowań medycznych na najważniejszy parametr cieczy magnetycznych wyrasta rozkład wielkości zawartych w niej nanocząstek i agregatów (PSD – *particle size distribution*), który można wyznaczyć za pomocą spektroskopii ultradźwiękowej. Pomiar ultradźwiękowy jest o tyle wygodny, że nie wymaga rozcieńczenia cieczy, może być zastosowany do ośrodków nieprzezroczystych i uwzględnia obecność warstw powierzchniowo czynnych, pokrywających powierzchnię nanocząstek.

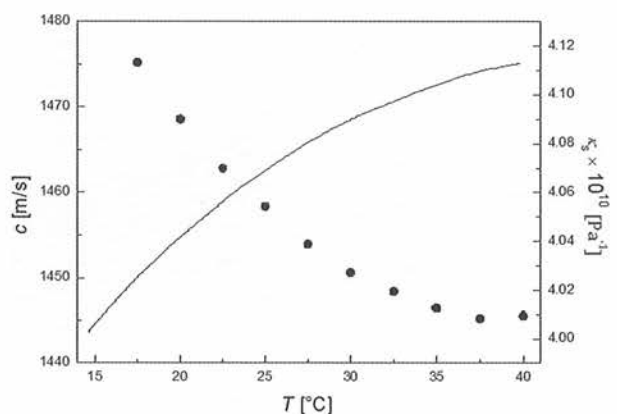
Na rys. 2 przedstawiono przykładowy logarymiczno-normalny rozkład wielkości cząstek magnetycznych stabilizowanych kwasem oleinowym, otrzymany metodą ultradźwiękową w różnych temperaturach (od 20 do 80°C). Uzyskane PSD wykazują zależność od temperatury. Świadczy to o tym, że w zawieszynie mogą samoistnie tworzyć się niewielkie agregaty. Wraz ze wzrostem temperatury ilość większych struktur maleje



Rys. 2. Funkcje rozkładu rozmiarów nanocząstek magnetycznych, otrzymane na podstawie pomiarów ultradźwiękowych dla różnych temperatur w zakresie 20–80°C. Wykres w środku przedstawia porównanie PSD uzyskanych z pomiarów akustycznych i magnetycznych [1]

z powodu rozpadu agregatów składających się z dwóch lub więcej cząstek magnezytu. Średni promień cząstek uzyskanych z pomiarów ultradźwiękowych jest większy niż otrzymany z krzywej magnesowania (wykres w środku rys. 2). Potwierdza to założenie, że metoda ultradźwiękowa pozwala wyznaczyć promień hydrodynamiczny, który jest większy od wielkości promienia rdzenia magnetycznego o warstwę surfaktantu i powłokę magnetycznie nieaktywną. Wynika stąd, że metoda ultradźwiękowa stanowi cenne uzupełnienie innych technik granulometrycznych.

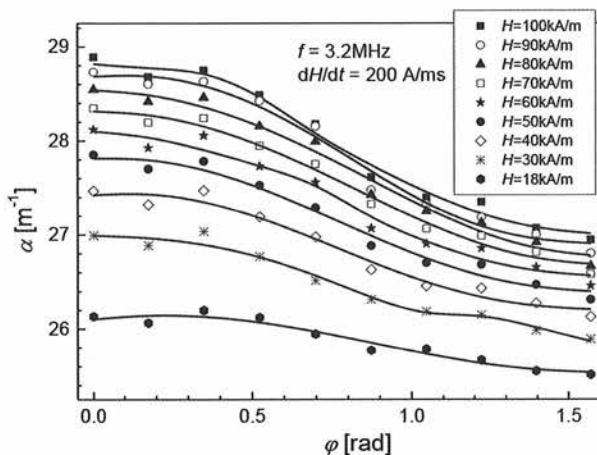
Za pomocą pomiarów akustycznych można badać także właściwości mechaniczne ośrodków, których miarą są współczynnik ściśliwości adiabatycznej i współczynnik sprężystości objętościowej. Prędkość propagacji fali jest bowiem związana ze ściśliwością adiabatyczną κ_s , zgodnie z dobrze znanym równaniem Laplace’a $c = (\rho\kappa_s)^{-1/2}$. Na rys. 3 przedstawiono



Rys. 3. Zmierzona prędkość fali ultradźwiękowej (linia ciągła) i współczynnik ściśliwości adiabatycznej w funkcji temperatury [2]

prędkość rozprzestrzeniania się fali ultradźwiękowej w cieczy magnetycznej oraz współczynnik ściśliwości adiabatycznej w zależności od temperatury. Podczas gdy prędkość fali ultradźwiękowej rośnie, współczynnik ściśliwości adiabatycznej zawiesiny nanocząstek magnetycznych zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury w badanym zakresie. Pomiary akustyczne pozwalają także na wyznaczenie parametrów mechanicznych samych nanocząstek [3].

Cennych – z punktu widzenia ich praktycznego wykorzystania – informacji na temat cieczy magnetycznych dostarczają badania anizotropii parametrów akustycznych, czyli zależności stałych propagacji od kąta między kierunkiem rozchodzenia się fali a polem magnetycznym. Badania zmian współczynnika pochłaniania fali ultradźwiękowej, α , przy stałej szybkości narastania pola magnetycznego, $dH/dt = 200 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, dla różnych kierunków wektora propagacji \mathbf{k} fali akustycznej względem pola magnetycznego \mathbf{H} pokazały, że dla $\varphi = 0^\circ$ pochłanianie fali ultradźwiękowej, wywołane polem magnetycznym, osiąga wartość maksymalną, a dla $\varphi = 90^\circ$ – minimalną (rys. 4). Uzyskane rezultaty świadczą o tym, że w zewnętrznym polu magnetycznym ciecz magnetyczna wykazuje anizotropię właściwości mechanicznych, która jest wynikiem łączenia się cząstek magnetycznych w sferyczne, a następnie łańcuchowe agregaty ustawiające się wzdłuż linii sił zewnętrznego pola magnetycznego. Większa wartość pochłaniania dla fali rozchodzącej się równoległe do kierunku pola magnetycznego ($\mathbf{k} \parallel \mathbf{H}$, $\varphi = 0^\circ$) wynika ze zmian pod wpływem fali ultradźwiękowej odległości między nanocząstkami magnetycznymi wchodzącymi w skład łańcuchów. Ponieważ oddziaływanie magnetyczne przywraca równowagę z pewnym opóźnieniem, pojawia się relaksacja akustyczna, prowadząca do zwiększonego pochłaniania



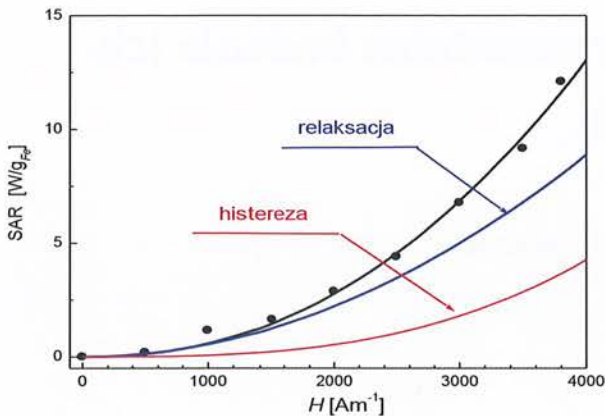
Rys. 4. Anizotropia współczynnika pochłaniania fali ultradźwiękowej w cieczy magnetycznej poddanej działaniu pola magnetycznego [4]

fali. Gdy fala rozchodzi się w kierunku prostopadłym do łańcuchów ($\mathbf{k} \perp \mathbf{H}$, $\varphi = 90^\circ$), wszystkie nanocząstki drgają w fazie – nie dochodzi do ściskania ani rozciągania się łańcucha i nie powstają magnetyczne siły przywracające równowagę.

Ultradźwięki o większym natężeniu znalazły zastosowanie w medycynie do leczenia różnych schorzeń za pomocą przegrzania organizmu (hipertermia). Reakcja ciała na bodźce cieplne zależy od wielu czynników, takich jak natężenie i czas działania bodźca oraz jego zmian w czasie, które należy określić eksperymentalnie. Fale ultradźwiękowe, rozchodząc się w organizmie, ulegają pochłanianiu, co prowadzi do uwolnienia energii cieplnej. Dzięki możliwości skupienia wiązki ultradźwiękowej w jednym miejscu można wywołać lokalną odpowiedź organizmu na dostarczone ciepło. W hipertermii ultradźwiękowej na ogół używa się fal o amplitudzie kilku $\text{W} \cdot \text{cm}^{-1}$ i częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz. Fala ultradźwiękowa wywołuje skutki biologiczne, fizyczne i chemiczne, przy czym lecznicze działania prowadzą m.in. do rozszerzenia naczyń krwionośnych, zmniejszenia napięcia mięśni, ograniczenia bólu i hamowania procesów zapalnych.

Inną metodą prowadzącą do podgrzania fragmentu organizmu jest hipertermia magnetyczna, polegająca na wprowadzeniu do określonego miejsca ciała nanocząstek magnetycznych, które, poruszając się w zewnętrznym zmiennym polu magnetycznym o wysokiej częstotliwości, podgrzewają lokalnie tkankę. Metodę tę stosuje się przy zwalczaniu schorzeń onkologicznych, gdyż komórki nowotworowe w porównaniu ze zdrowymi są mniej odporne na przegrzanie. W praktyce czas ekspozycji organizmu na działanie pola wynosi ok. 30 minut. Z kolei ze względu na bezpieczeństwo zabiegu częstotliwość f i amplituda natężenia pola magnetycznego H powinny spełniać relację: $f \cdot H \leq 4,85 \times 10^8 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. W magnetycznej hipertermii najczęściej używa się magnetytowych nanocząstek o średnich rozmiarach rdzenia magnetycznego ok. 10 nm, zawieszonych w wodzie. Cechą tak drobnych magnetycznych obiektów jest zjawisko superparamagnetyzmu, co oznacza, że układ ten nie wykazuje magnetycznej histerezy. Ze względu jednak na metodę syntezy cieczy magnetyczne są ośrodkami polidispersyjnymi i zawierają pewien procent cząstek magnetycznych o większych rozmiarach, które mogą wykazywać zjawisko histerezy. Źródłem wydzielanego ciepła jest zatem relaksacja magnetyczna i histereza magnetyczna.

Często dla porównania efektywności różnych nanocząstek stosowanych w magnetycznej hipertermii wprowadza się współczynnik absorpcji właściwej (SAR), określający moc cieplną przeliczoną na jednostkę masy materiału magnetycznego. W praktyce



Rys. 5. Zależność parametru SAR w funkcji amplitudy natężenia pola magnetycznego w wodnej cieczy magnetycznej, zawierającej cząstki magnetytowe w otoczce BSA. Stężenie ziarna magnetytowego wynosi $8\text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$, a średni rozmiar cząstek równa się $13,2\text{ nm}$ [5, 6, 7]

zaleca się, aby wydzielona moc cieplna przekraczała 100 mW w 1 cm^3 tkanki. Jest to wystarczająca wartość, przy której wzrost temperatury jest odpowiedni, pomimo przepływu krwi przez podgrzewane struktury.

Spektroskopia ultradźwiękowa umożliwia przeprowadzenie szeregu unikatowych eksperymentów, dających szerszy wgląd we właściwości i mikrostrukturę nanomateriałów. Zaletami metod ultradźwiękowych są możliwość badania nieprzezroczystych ośrodków poprzez wykorzystanie fal o małym natężeniu, niezaburzających składu badanej substancji, oraz jednoczesny pomiar prędkości propagacji i współczynnika pochłaniania. Zmiany prędkości i współczynnika pochłaniania fali ultradźwiękowej w funkcji częstotliwości w ośrodku koloidalnym, jakim jest ciecz magnetyczna, niosą informacje o stężeniu objętościowym fazy rozproszonej (stałej), o rozkładzie wielkości cząstek oraz

o wielu parametrach mechanicznych i cieplnych obu faz. Pomiary właściwości akustycznych cieczy magnetycznej poddanej działaniu pola magnetycznego pozwalają także na śledzenie zmian jej struktury.

Literatura

- [1] A. Józefczak, T. Hornowski, A. Skumiel, *Temperature dependence of particle size distribution in transformer oil-based ferrofluid*, Int. J. Thermophys 32 (2011), 795.
- [2] A. Józefczak, T. Hornowski, V. Závřisova, A. Skumiel, M. Kubovcikova, M. Timko, *Acoustic wave in a suspension of magnetic nanoparticle with sodium oleate coating*, J. Nanopart. Res. 16 (2014), 2271.
- [3] A. Józefczak, A. Skumiel, *Ultrasonic investigation of magnetic nanoparticles suspension with PEG biocompatible coating*, J. Magn. Magn. Matter. 323 (2011), 1509.
- [4] A. Józefczak, A. Skumiel, *Field induced aggregates in a bilayer ferrofluid characterized by ultrasound spectroscopy*, J. Phys.: Condens. Matter. 18 (2006), 1869.
- [5] A. Józefczak, A. Skumiel, *Heating effect in biocompatible magnetic fluids with the BSA surfactant layer*, Magnetohydrodynamics 43 (2007), 445.
- [6] A. Skumiel, *Evaluation of Relaxational and Hysteretic Heat Losses in Concentrated Magnetic Fluid under Influence of Alternating Magnetic Field*, Int. J. Thermophys. 31 (2010), 546.
- [7] A. Skumiel, M. Izydorczak, M. Leonowicz, A. D. Pomogailo, G. I. Dzhardimalieva, *Thermophysical and Magnetic Properties of Carbon Beads Containing Nickel Nanocrystallites*, Int. J. Thermophys. 32 (2011), 1973.

Tańczące skrzypce, czyli eksperymentalne badania ich drgań metodą analizy modalnej

Ewa Skrodzka

Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

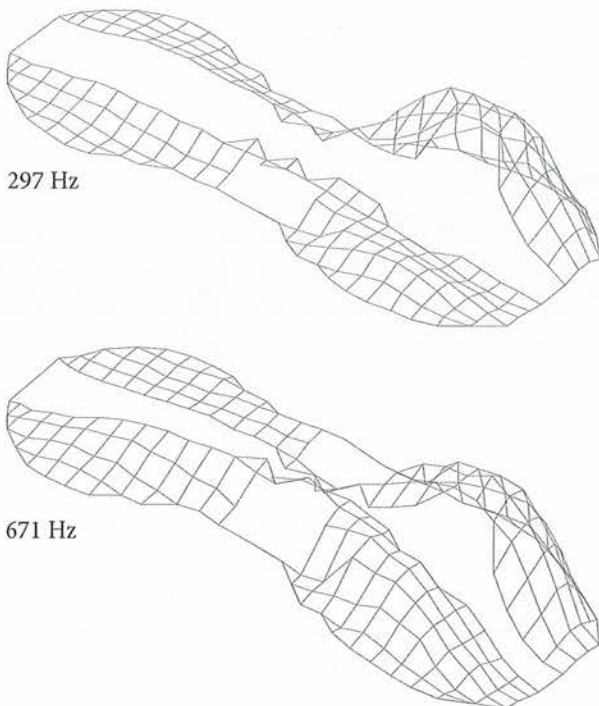
Zachowania dynamiczne skrzypiec można badać metodami eksperymentalnymi i numerycznymi. Wśród tych pierwszych najbardziej interesujących rezultatów dostarczyły badania z wykorzystaniem pomiarów optycznych i akustycznych oraz analizy modalnej. Pierwszą pracę dotyczącą eksperymentalnej analizy modalnej skrzypiec opublikował Marshall [1]. Zachowania dynamiczne skrzypiec modelowano również metodą elementów skończonych. Metoda ta, jako wirtualny substytut doświadczeń trudnych do wykonania w laboratorium, ma liczne zalety, lecz wymaga znajomości wielu parametrów fizycznych, których określenie dla skrzypiec jest często niemożliwe, bardzo trudne lub jedynie przybliżone, głównie ze względu na anizotropię drewna. Modele skrzypiec zbudowane przy użyciu metody elementów skończonych zawierają wiele uproszczeń i z tego powodu ich przydatność do analizy zachowań dynamicznych jest ograniczona.

Pojedyncze egzemplarze skrzypiec, nierzadko instrumenty o dużej wartości koncertowej lub historycznej, dość często badano analizą modalną [2–3], natomiast w literaturze problemu bardzo niewiele miejsca poświęcono badaniom porównawczym instrumentów o zmodyfikowanej strukturze [4–5]. W środowisku lutników istnieje ponadto wiele niepotwierdzonych eksperymentalnie mitów i „sekretoów zawodowych”, dotyczących np. wpływu lakieru czy napięcia belki basowej w skrzypcach na jakość instrumentu. Zatem obiektywne zmierzenie zmian w zachowaniu dynamicznym instrumentów wywołanych celowo w sposób kontrolowany wprowadzanymi modyfikacjami jest bardzo interesujące [6–8].

Do zbadania zachowań dynamicznych instrumentów skrzypcowych o zmodyfikowanej budowie wykorzystano analizę modalną. Jest ona jedną z eksperymentalnych metod opisu drgań dowolnych obiektów [9–10]. Jej celem jest wyznaczenie tzw. modów drgań, czyli drgań niepodzielnych (podstawowych, prostych, własnych), lub opis drgań za pomocą tzw. parametrów

modalnych, tj. częstotliwości i tłumień modalnych oraz stowarzyszonych z nimi modów drgań. W odniesieniu do instrumentów skrzypcowych „mod” oznacza drganie instrumentu wraz z powietrzem zawartym w korpusie rezonansowym i powietrzem otaczającym instrument dla ściśle określonej (modalnej) częstotliwości. Drgania o różnej częstotliwości modalnej podlegają zazwyczaj różnemu tłumieniu, które zależy od kształtu obiektu, stałych materiałowych i warunków brzegowych. Normalny mod drgania (mod własny) zależy od geometrii instrumentu, parametrów materiałów użytych do jego budowy i warunków brzegowych. Warunki brzegowe dla skrzypiec są skomplikowane ze względu na sprzężony ruch ich części składowych, tj. płyt wierzchnich, płyt spodnich, boczaków i objętości powietrza zawartej w pudle rezonansowym. Wypadkowe drganie struktury jest opisywane sumą modów drgań. Taki opis wymaga założenia o liniowości badanego obiektu, czyli spełnienia zasady superpozycji modów. Wypadkowe drganie jest kombinacją modów, a dzięki analizie modalnej możliwe jest dokonanie jego rozkładu na zbiór dyskretnych, niezależnych „drgań składowych” odpowiadających poszczególnym modom. Ciągłe układy mechaniczne mają nieskończoną liczbę modów, których obwiednie stają się bardziej skomplikowane w miarę wzrostu częstotliwości modalnej. W praktyce wyznacza się tylko kilka pierwszych modów drgań. Ponieważ technika analizy modalnej pozwala na rozkład złożonych drgań wypadkowych dowolnego układu na drgania proste, często mówi się, że ma ona pewien aspekt porządkujący informacje dotyczące dynamiki badanego układu.

W eksperymentalnej analizie modalnej parametry modalne wyznacza się w oparciu o funkcje transmancji, zmierzone między parami punktów pomiarowych. Szerokopasmowy sygnał pobudzenia najczęściej pochodzi z młotka udarowego, a sygnał odpowiedzi układu (przyspieszenie) – z akcelerometru. Oba sygnały rejestruje się zazwyczaj w kierunku prostopadłym



Obwiednia modalna skrzypiec o częstotliwości 297 Hz (część górna) oraz obwiednia modalna „barometru tonalnego” instrumentu.

do badanych płyt, a więc kierunku najistotniejszym ze względu na proces generacji dźwięku. Z obu tych sygnałów uzyskuje się funkcje transmitancji między parą punktów pomiarowych, a ze zbioru funkcji transmitancji, uporządkowanych w macierz transmitancji, parametry modalne badanego instrumentu. Najbardziej spektakularnym rezultatem analizy modalnej są animacje obwiedni modalnych. Są to powtarzalne okresowo obrazy ruchu badanej płyty, na których widać krzywe węzłowe (nieporuszające się), obszary będące w ruchu oraz kierunek tego ruchu (fazę drgań). Porównanie parametrów modalnych dwóch egzemplarzy skrzypiec różniących się jedną, celowo wprowadzoną modyfikacją strukturalną pozwala na opis jej wpływu na zachowanie dynamiczne instrumentu. Zanimowane obwiednie modalne uwidaczniają skomplikowane drgania własne

płyt – skrzypce „tańczą” w każdej częstotliwości modalnej, wykonując specyficzne ruchy. Przykład deformacji modalnej wierzchniej płyty skrzypcowej w częstotliwości 276 Hz pokazano w górnej części rysunku. W części dolnej przedstawiono obwiednię modalną o częstotliwości 671 Hz, charakterystyczną dla modu nazywanego „barometrem tonalnym” skrzypiec, odpowiedzialnego za „bogactwo” dźwięku instrumentu.

Literatura

- [1] K. D. Marshall, *Modal analysis of a violin*, J. Acoust. Soc. Am. 77 (1985), 695–709.
- [2] G. Bissinger, *Structural acoustics of good and bad violins*, J. Acoust. Soc. Am. 124 (2008), nr 3, 1764–1773.
- [3] H. Dünnwald, *Deduction of objective quality parameters on old and new violins*, Catgut Acoust. Soc. J. Series II 1 (1999), 1–5.
- [4] G. Weinreich, C. Holmes, M. Mellody, *Air-wood coupling and Swiss-cheese violin*, J. Acoust. Soc. Am. 108 (2000), 2389–2402.
- [5] H. Meinel, *On the frequency curves of violin*, Akust. Ž. 2 (1937), 22–33.
- [6] E. Skrodzka, A. Krupa, E. Rosenfeld, B. B. J. Linde, *Mechanical and optical investigation of dynamic behaviour of violins in modal frequencies*, Applied Optics 48 (2009), C165–170.
- [7] E. B. Skrodzka, B. B. J. Linde, A. Krupa, *Modal parameters of two violins with different varnish layers and subjective evaluation of their sound quality*, Arch. Acoust. 38 (2013), nr 1, 75–81.
- [8] E. Skrodzka, B. B. J. Linde, A. Krupa, *Effect of bass bar tension on modal parameters of violin's top plate*, Arch. Acoust. 39 (2014), nr 1, 145–149.
- [9] D. J. Ewins, *Modal Testing: Theory and Practice*, Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset 1995.
- [10] E. Skrodzka, A. Łapa, B. B. J. Linde, E. Rosenfeld, *Modal parameters of two complete guitars differing in the bracing pattern of the soundboard*, J. Acoust. Soc. Am. 130 (2011), nr 4, 2186–2195.

Dźwięki dla niewidomych

Ewa Skrodzka

Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Szacuje się, że w Polsce mieszka ok. 200 000 osób niewidomych i słabowidzących. Odbiór i poprawna interpretacja informacji o otoczeniu, przenoszonych przez fale akustyczne, jest dla nich szczególnie ważna, ponieważ wpływa na poprawę jakości życia, a także umożliwia samodzielne i bezpieczne poruszanie się w środowisku miejskim. Są to warunki przeciwdziałania wykluczeniu społecznemu, które zostały podkreślone w Konwencji Praw Osób Niepełnosprawnych ONZ, ratyfikowanej przez Polskę w 2012 r. Nauka orientacji przestrzennej jest niezbędnym elementem procesu edukacji osób niewidomych, ociemniałych oraz słabowidzących. Do 2010 r. w Polsce nie istniała systematyczna metoda nauki orientacji przestrzennej, bazująca na naturalnych dźwiękach środowiska, a nauczyciele orientacji przestrzennej wprowadzali ćwiczenia rozwijające tę orientację w ograniczonym zakresie, głównie jako dodatek do techniki posługiwania się białą laską [1]. Informacje czerpane z dotyku laską są krótkozasięgowe (do 1 metra), a zmysł słuchu jest zmysłem dalekozasięgowym. Zatem dołączenie do techniki chodzenia z laską umiejętności interpretowania otoczenia słuchem jest dla osób niewidomych szczególnie istotne.

Informacja o źródle dźwięku (np. kierunku i prędkości poruszania się czy otoczeniu, w którym źródło się porusza) jest zakodowana w fizycznych parametrach fali akustycznej (składzie widmowym, strukturze czasowej czy poziomie ciśnienia akustycznego). Cechy te umożliwiają rozróżnienie źródeł dźwięku i ocenę ich zachowania, czyli mogą być wykorzystane do zinterpretowania otoczenia sygnałów akustycznych [2]. Wymaga to kilkuletniej nauki i treningu pod okiem wykwalifikowanych nauczycieli. Na etapie początkowym nauka ta powinna odbywać się w warunkach jak najbardziej przyjaznych niewidomemu dziecku (zazwyczaj), np. w laboratorium komputerowym, w którym istnieje możliwość wielokrotnego zaprezentowania tego samego dźwięku i omówienia jego istot-

nych cech, a następnie w warunkach rzeczywistych, czyli na ulicach miasta.

Istnieje wiele doniesień wskazujących, że osoby niewidome lepiej niż osoby widzące radzą sobie w zadaniach związanych z koncentracją uwagi i lokalizacją źródła dźwięku [3, 4], percepcją mowy [5, 6], zapamiętywaniem słów [7, 8] czy dyskryminacją wysokości dźwięków [9]. Spotykane są również doniesienia wskazujące, że osoby niewidome od urodzenia lub te, które straciły wzrok we wczesnym etapie życia, lepiej rozpoznają i różnicują dźwięki niż osoby, które utraciły wzrok w wieku młodzieńczym lub dorosłym [9–11]. Badania te, dotyczące ogólnie percepcji dźwięków przez niewidomych, przeprowadzone były dotychczas głównie z udziałem dorosłych, niewidomych słuchaczy.

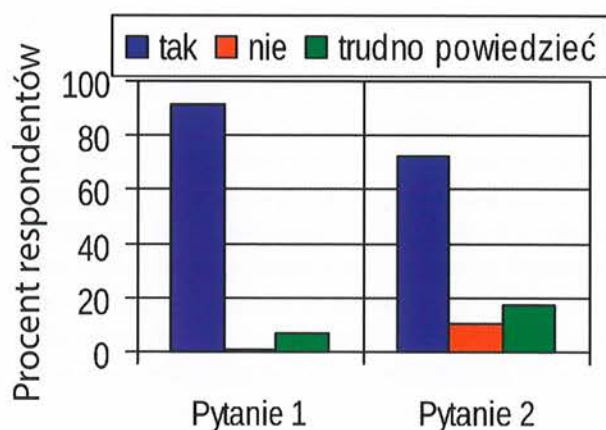
Skutkiem treningu słuchowego na wykonywanie ww. zadań psychoakustycznych poświęcono w literaturze niewiele miejsca. Easton i in. [12] badali wpływ informacji dźwiękowych na orientację przestrzenną oraz kontrolę postawy ciała niewidomych osób dorosłych. W badaniach dotyczących wpływu treningu słuchowego na lokalizację przestrzenną dorosłych osób niewidomych wykazano, że werbalna ocena odległości uległa znaczącej poprawie po treningu [13]. Z kolei w badaniach dotyczących wpływu wczesnych doświadczeń pozawzrokowych na ostrość proprioceptywnej oceny przestrzeni wykazano, że osoby niewidome, które rozpoczęły trening orientacji przestrzennej przed 12. rokiem życia, w wieku dorosłym wykazywały w tym zakresie lepszą kompensację braku wzroku przez zmysł słuchu i czucia niż osoby, które rozpoczęły trening w wieku późniejszym [14]. Wykazano również, że u starszych osób niewidomych, praktykujących odsłuchy audiobooków (często z przyspieszoną mową), zrozumiałość mowy w szumie była lepsza niż u ich widzących rówieśników, którzy nie korzystali z dźwiękowej formy literatury [15]. Rezultat ten uzasadniano większą koncentracją osób niewidomych na przekazie dźwiękowym, a więc swoistym treningiem. Treningowi słu-

chowemu poddawano również osoby z problemami słuchowymi. Zarówno u osób z implantami słuchowymi [16], jak i osób słabosłyszących wspomaganych aparatami słuchowymi [17] zaobserwowano korzystny wpływ treningu na percepcję mowy, utrudnionej obecnością szumu i dźwięków muzycznych. W kolejnych badaniach wykazano, że wczesne rozpoczęcie nauki muzyki (w wieku 7–10 lat) przez osoby bez deficytów wzrokowych i słuchowych znacząco wpływa na zrozumiałość mowy w szumie w wieku późniejszym [18]. Z powyższego przeglądu literatury wynika, że odpowiedni trening słuchowy może być pomocny osobom niewidomym i słabowidzącym, jeśli tylko zostanie rozpoczęty w odpowiednim wieku. O ile zagadnienia poprawy percepcji słuchowej w wyniku treningu u osób z problemami słuchowymi zostały dość dobrze zbadane i opisane, o tyle wpływ treningu słuchowego na percepcję bodźców dźwiękowych przez osoby niewidome, szczególnie dzieci i młodzież, został dotychczas przebadany jedynie fragmentarycznie. Aby wypełnić tę lukę, od 2008 r. w Zakładzie Elektroakustyki Instytutu Akustyki UAM prowadzone są badania dotyczące wykorzystania dźwięków środowiskowych do nauki orientacji przestrzennej oraz prace mające na celu stworzenie treningu słuchowego wspomagającego tę naukę. W ramach tych działań realizowano kilka projektów naukowych, które zainicjowały powstanie nowego w skali światowej kierunku badań dotyczących skutecznego wspomagania osób z dysfunkcjami wzroku sygnałami akustycznymi. Chodzi o: *Opracowanie metody nauki orientacji przestrzennej w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem dźwięków środowiska*, NCBiR, nr N R11 0008 04 (2008–2010); *Opracowanie metody oznaczania miejsc niebezpiecznych i szczególnie istotnych w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem markerów falowo-wibracyjnych*, NCBiR, nr N R17 0017 06/2009 (2009–2012) oraz *Badanie wpływu treningu słuchowego na wybrane umiejętności słuchowe u dzieci i młodzieży z dysfunkcją wzroku*, NCN, nr 2012/05/B/HS6/03863 (2013–2016).

Metoda nauki orientacji przestrzennej w oparciu o dźwięki środowiskowe

W celu zidentyfikowania dźwięków istotnych dla samodzielnego i bezpiecznego poruszania się osób niewidomych i słabowidzących w mieście wśród 200 osób przeprowadzono ankietę, której celami były identyfikacja i klasyfikacja (głównie dla potrzeb rejestracji) źródeł dźwięków, zebranych następnie w „bibliotece zdarzeń akustycznych”. W ankiecie uczestniczyły osoby z dysfunkcją wzroku w wieku od 10 do 61+ lat. Ankietowani, odpowiadając na kilkadziesiąt pytań, wska-

zali najbardziej typowe dźwięki i sytuacje akustyczne wspomagające i utrudniające orientację przestrzenną w mieście. Wśród dźwięków wspomagających orientację wymieniono (w kolejności ważności): udźwiękowione przejścia dla pieszych; pojazdy (tramwaje, autobusy, samochody osobowe i ciężarowe, pociągi), a także komunikaty z głośników; dźwięk pojazdu, w którym znajduje się respondent; dźwięki zewnętrzne docierające do pojazdu; zachowania współpasażerów; dzwony kościelne; maszyny budowlane; wiaty przystanków komunikacyjnych; budynki i ich bramy w starej zabudowie; szum drzew; place zabaw dla dzieci; dźwięki fontanny; dźwięki ruchu ulicznego oraz flagi łopoczące na wietrze. Natomiast wśród dźwięków zakłócających orientację przestrzenną badani wymienili hałasy pochodzące od: maszyn budowlanych; kosiarki do trawy; nisko lecących samolotów; karetki lub samochodu policji, jadących wolno na sygnale; gwaru ludzi w tłumie; reklam emitowanych z samochodów; pojazdów oczyszczania miasta; telefonów komórkowych; pracy silników samochodowych w bliskości przejść dla pieszych; widowisk koncertowych i dużych skupisk ludzi; pociągów; hałasu komunikacyjnego; komunikatów z głośników pojazdu, w którym znajduje się respondent; zewnętrznych sygnałów akustycznych docierających do pojazdu; zachowań współpasażerów; braku dźwięków wspomagających orientację; gwaru miejskiego; odbicia dźwięków oraz warunków atmosferycznych (wiatr, deszcz, błoto pośniegowe). Większość respondentów wskazywała też na istotność informacji uzyskiwanych o otoczeniu słuchem oraz wykazywała zainteresowanie kształceniem umiejętności interpretowania otoczenia słuchem (rys. 1). Obserwacja ta potwierdziła konieczność stworzenia usystematyzowanej metody nauki orientacji przestrzennej w oparciu o dźwięki środowiska miejskiego [19].



Rys. 1. Odpowiedzi osób niewidomych na pytanie 1. „Czy informacje o otoczeniu, uzyskane za pomocą słuchu, są istotne?” oraz na pytanie 2. „Czy ankietowany jest zainteresowany kształceniem umiejętności interpretowania otoczenia słuchem?”



Fot. 1. Akwizycja dźwięków miasta metodą stacjonarną, za pomocą sztucznej głowy i mikrofonów dousznych umieszczonych na głowie badacza

Następnie wskazane dźwięki zostały zarejestrowane w wytypowanych punktach miasta. Akwizycję dźwięków prowadzono metodą stacjonarną za pomocą sztucznej głowy i mikrofonów dousznych umieszczonych na głowie badacza (fot. 1) oraz w sytuacjach, gdy osoba niewidoma poruszała się z laską, w uszach miała mikrofony douszne, a układ rejestrujący – w plecaku (fot. 2). Rejestrowano wtedy tzw. ścieżki dźwiękowe, czyli dźwięki środowiskowe, które słyszy osoba poruszająca się wraz z dźwiękami pochodzącymi od stukania laską. Ze względu na metodę rejestracji wszystkie zarejestrowane dźwięki przeznaczone są do odsłuchu słuchawkowego.

Niezmiernie istotnym elementem weryfikacji doboru dźwięków i poprawności metody ich rejestracji była współpraca z grupą niewidomych konsultantów, którzy odsłuchiwali nagrania i komentowali je – np. ich pomysłem była rejestracja „ścieżek dźwiękowych”. Konsultantom często towarzyszyły psy-przewodnicy, które niekiedy słuchały nagrań. Ich uwagi i opinie pozostają nieznanne... (fot. 3).

Następnie z zarejestrowanych dźwięków stworzono „Bibliotekę zdarzeń akustycznych”, która stała się podstawą do stworzenia metody nauki orientacji przestrzennej dla osób niewidomych w oparciu o dźwięki środowiska miejskiego. Zaproponowano ok. 370 niezbędnych zdarzeń akustycznych, pozwalających uczącemu się na poznanie typowych sytuacji i miejsc związanych z przemieszczaniem się w środowisku miejskim. W celu ułatwienia korzystania z określonych zdarzeń akustycznych podzielono je na sześć głównych działów. Każdy dział ma swoje główne tematy, podtematy, zagadnienia i podzagadnienia. Tak usystematyzowane zdarzenia akustyczne tworzą katalog biblioteki dźwięków. Biblioteka dźwięków składa się z 1473



Fot. 2. Rejestracja „ścieżek dźwiękowych” za pomocą mikrofonów dousznych umieszczonych na głowie osoby poruszającej się z białą laską. Układ rejestrujący znajduje się w plecaku

plików dźwiękowych. Każdy plik dźwiękowy opisano, wyszczególniając, co można w nim usłyszeć. Do 520 plików dźwiękowych dołączono filmy przedstawiające odsłuchiwane zdarzenie. Z filmów mogą korzystać widzący nauczyciele i opiekunowie osób niewidomych. Wszystkie pliki dźwiękowe wraz z opisem i filmami

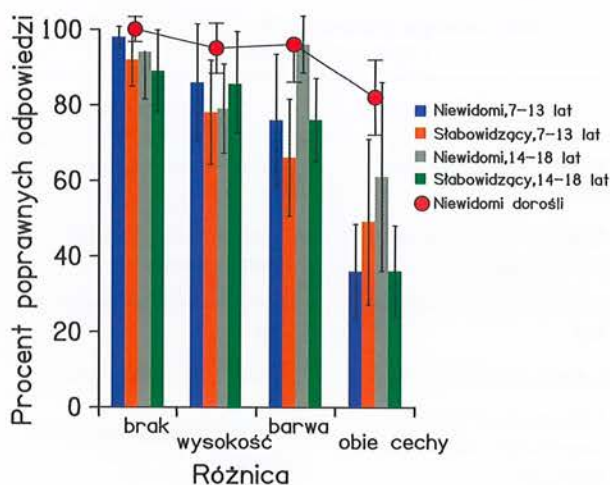


Fot. 3. Pies-przewodnik podczas konsultacji, czyli pani pracuje, a pies się nudzi

zajmują łącznie 13,1 GB. W celu ułatwienia nauczycielom prowadzenia lekcji przygotowano instrukcję wykorzystania plików, a także napisano podręcznik (przewodnik) nauki orientacji przestrzennej oraz program komputerowy obsługujący nagrane pliki i umożliwiający przeprowadzanie lekcji na różnym poziomie zaawansowania. Wykonano także dotykowe plany reliefowe Poznania oraz Owińsk, dające możliwość pełnego wykorzystania w nauce orientacji przestrzennej zmysłów dotyku i słuchu łącznie. Tyflogiczne plany Poznania zostały udźwiękowione poprzez wykorzystanie technologii Pen Frienda oraz sprzężenie ich z binauralnymi nagraniami tras i miejsc. Powstał także film informacyjno-instruktażowy, kierowany przede wszystkim do nauczycieli orientacji przestrzennej i opiekunów dziecka. Film „Świat dźwiękiem malowany” ilustruje zaproponowaną metodę poprzez ukazanie funkcjonowania niewidomego od dzieciństwa do wieku dorosłego w aspekcie odbieranych przez niego dźwięków. Projekt był realizowany wspólnie przez Instytut Akustyki UAM, Politechnikę Poznańską oraz Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy dla Dzieci Niewidomych w Owińskach.

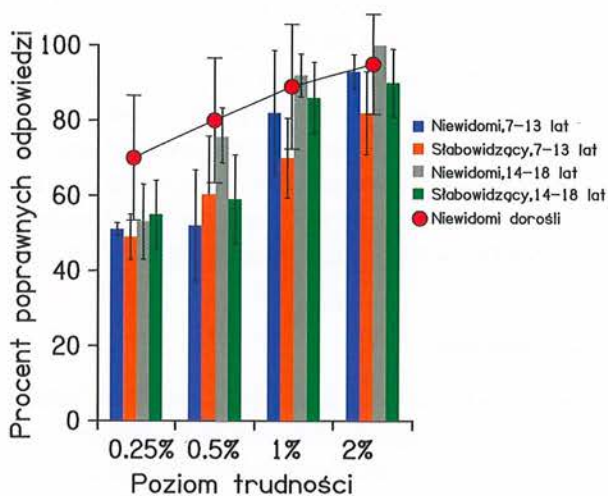
Trening słuchowy dla dzieci i młodzieży z dysfunkcją wzroku

Celem podjętych działań jest zbadanie, czy trening słuchowy może uwrażliwić osoby niewidome na zmiany dźwięku i nauczyć je koncentracji uwagi słuchowej na niewielkich różnicach w parametrach akustycznych fali dźwiękowej, istotnych dla samodzielnego interpretowania otoczenia słuchem. Badaniom poddano dwie grupy osób niewidomych i słabowidzących w wieku 8–12 lat oraz 13–18 lat. Podział na grupy wiekowe wynika z doniesień literaturowych dotyczących badań nad funkcjonowaniem mózgu, które wskazują, że u osób, u których wcześniej nastąpiła utrata wzroku (do 12. roku życia), obserwowana jest większa aktywność potylicznych obszarów mózgu w zadaniach niewymagających widzenia niż u osób, u których utrata wzroku nastąpiła w starszym wieku [20–22], oraz z badań dotyczących wykonywania wybranych zadań psychoakustycznych przez niewidome dzieci i młodzież [23, 24]. Na przykład w zadaniu, w którym należało wskazać, czym różnią się dźwięki prezentowane w parze (tylko wysokością, tylko barwą, obiema tymi cechami bądź niczym), w najtrudniejszym teście, w którym dźwięki w parze różniły się jednocześnie barwą i wysokością, wyniki zbliżone do rezultatów dorosłych osób niewidomych [9] uzyskały jedynie niewidome nastolatki. W teście, w którym dźwięki w parze różniły się tylko barwą, słabowidzące dzieci uzyskały wyniki najbardziej



Rys. 2. Wyniki eksperymentu dotyczącego jednoczesnego różnicowania wysokości i barwy dźwięku przez dzieci i młodzież z dysfunkcją wzroku [23]. Czerwonymi punktami zaznaczono wyniki uzyskane dla niewidomych osób dorosłych [9]

odbiegające od wyników osób dorosłych (rys. 2). Podobnie było w eksperymencie, w którym dźwięki w parze różniły się jedynie wysokością i należało wskazać dźwięk wyższy. W zadaniu najtrudniejszym, w którym częstotliwość tonów w parze różniła się o 0,25%, najmłodsze dzieci z problemami wzrokowymi radziły sobie znacząco gorzej od niewidomych nastolatków i dorosłych (rys. 3). Biorąc pod uwagę doniesienia literaturowe i obserwacje doświadczalne, przygotowano trening słuchowy składający się z zadań dotyczących dyskryminacji częstotliwości, kategoryzacji wysokości i barwy, zapamiętywania wysokości dźwięku [25] oraz lokalizacji źródeł dźwięku [26]. Trening przeprowadzany jest w warunkach wirtualnych, przez słuchawki.



Rys. 3. Wyniki eksperymentu dotyczącego dyskryminacji wysokości dźwięku przez dzieci i młodzież z dysfunkcją wzroku [23]. Czerwonymi punktami zaznaczono wyniki uzyskane dla niewidomych osób dorosłych [9]

Skład treningu słuchowego dla dzieci i młodzieży z dysfunkcją wzroku [25]

Część pierwsza	Część druga
Różnicowanie wysokości – ton	Różnicowanie głośności – ton
Różnicowanie wysokości – szum pasmowy	Różnicowanie głośności – szum pasmowy
Różnicowanie wysokości – FM	Różnicowanie głośności – AM
Lokalizacja źródła – ton	Lokalizacja źródła – szum
Różnicowanie barwy i wysokości – instrumenty muzyczne	Zapamiętywanie wysokości dźwięku
Różnicowanie barwy – sygnał harmoniczny	Różnicowanie barwy – sygnał harmoniczny
Różnicowanie barwy i wysokości – sygnał harmoniczny	Różnicowanie barwy i wysokości – sygnał harmoniczny
Detekcja sygnału na tle szumu	Pozostałe
Pozostałe	

Zadania lokalizacyjne prezentowane są obuusznie (binauralnie), a pozostałe – jednoustnie (monauralnie). Zadaniem osoby trenowanej jest odpowiedź na postawione pytanie, udzielana po wysłuchaniu pary dźwięków. W treningu, z uwagi na udział w nim małych dzieci, zamieszczono również zadania relaksujące, np. zadanie, w którym słuchacz ma policzyć, ile razy zaszczekał pies lub ile przejechało samochodów. Trening składa się z 20 sesji trwających ok. 40 minut każda. Sesje są ustawione w kolejności od zadań najłatwiejszych do najtrudniejszych. Kryterium zaliczenia danej sesji to 70% poprawnie wykonanych zadań. Spis zadań treningowych zawarto w tabeli. Miarą efektywności treningu jest różnica wyników w eksperymencie testowym. Eksperyment ten, składający się z zadań wykonywanych w treningu i podobnych, wykonywany jest przed treningiem i bezpośrednio po nim. Trening jest obecnie w fazie testowej, wykonywanej przy współpracy SOSWDN w Owińskach oraz OSWDSN w Łodzi.

Podsumowanie

Celem opisanych działań jest uczynienie środowiska miejskiego przyjaznym dla osób niewidomych i słabowidzących. Są one adresowane do całego środowiska osób z problemami wzrokowymi, ze szczególnym wskazaniem na dzieci i młodzież, ponieważ ta grupa najbardziej entuzjastycznie odnosi się do nowych rozwiązań komputerowych, jest ciekawa świata oraz

gotowa na eksperymenty i nowe wyzwania. Pomoc osobom niewidomym w efektywnym wykorzystaniu sygnałów akustycznych do niezależnego od innych i bezpiecznego poruszania się w mieście jest częścią działań skierowanych na przeciwdziałanie ich wykluczeniu społecznemu.

Pracę wykonano częściowo w ramach realizacji projektu NCN 2012/05/B/HS6/03863.

Literatura

- [1] E. Hojan, E. Skrodzka, *Polish Research on Acoustical Assistance for Blind and Visually Handicapped Persons*, ICAD 2013, 13–16.
- [2] E. Hojan, M. Jakubowski, A. Talukder, H. Wereda, A. Furmann, R. Ewertowski, E. Skrodzka, P. Perz, P. Pękala, E. Bogusz, H. Lubawy, F. Tomaszewski, B. Czechyra, M. Orczyk, G. Szymański, M. Niewiarowicz, D. Hojan-Jeziarska, A. Jeziarska, *A new method of teaching spatial orientation to the blind*, Acta Physica Polonica A 121 (2012), nr 1A, A5–A8.
- [3] N. Lessard, M. Pare, F. Lepore, M. Lassonde, *Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects*, Nature 395 (1998), 278–280.
- [4] B. Roder, F. Rosler, H. J. Neville, *Effects of interstimulus interval on auditory event-related potentials in congenitally blind and normally sighted humans*, Neuroscience Letters 264 (1999), 53–56.
- [5] K. Hugdahl, M. Ek, F. Takio, T. Rintee, J. Tuomainen, C. Haarala, *Blind individuals show enhanced perceptual and attentional sensitivity for identification of speech sounds*, Cognitive Brain Research 19 (2004), 28–32.
- [6] C. Muchnik, M. Efrati, E. Nemeth, M. Malin, M. Hildesheimer, *Central auditory skills in blind and sighted subjects*, Scandinavian Audiology 20 (1991), 19–23.
- [7] A. Amedi, N. Raz, P. Pianka, R. Malach, E. Zohary, *Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind*, Nature Neuroscience 6 (2003), 758–766.
- [8] B. Roder, F. Rosler, *Memory for environmental sounds in sighted, congenitally blind and late blind adults: Evidence for crossmodal compensation*, Int. J. Psychophysiology 50 (2003), 27–39.
- [9] C. Y. Wan, A. G. Wood, D. C. Reutens, S. J. Wilson, *Early but not late-blindness leads to enhanced auditory perception*, Neuropsychologia 48 (2010), 344–348.
- [10] F. Gougoux, F. Lepore, M. Lassonde, P. Voss, R. J. Zatorre, P. Belin, *Pitch discrimination in the early blind*, Nature 430 (2004), 309–1309.

- [11] P. Voss, F. Gougoux, R. Zatorre, M. Lassonde, F. Lepore, *Differential occipital responses in early- and lateblind individuals during a sound-source discrimination task*, *Neuroimage* 40 (2008), 746–758.
- [12] R. D. Easton, A. J. Greene, P. DiZio, J. R. Lackner, *Auditory cues for orientation and postural control in sighted and congenitally blind people*, *Exp. Brain Research* 118 (1998), 541–550.
- [13] R. D. Easton, B. L. Bentzen, *The effect of extended acoustic training on spatial updating in adults who are congenitally blind*, *J. Visual Impairment and Blindness* 93 (1999), nr 7, 405–416.
- [14] K. Fiehler, J. Reuschel, F. Rosler, *Early non-visual experience influences proprioceptive-spatial discrimination acuity in adulthood*, *Neuropsychologia* 47 (2009), 897–906.
- [15] S. Gordon-Salant, S. A. Friedman, *Recognition of rapid speech by blind and sighted older adults*, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 54 (2011), 622–631.
- [16] J. B. Spitzer, D. Mancuso, M. Cheng, *Development of a Clinical Test of Musical Perception: Appreciation of Music in cochlear implantees (AMICI)*, *J. Am. Ac. Audiol.* 19 (2008), 56–81.
- [17] J. Henderson Sabes, R. W. Sweetow, *Variables predicting outcomes on listening and communication enhancement (LACE™) training*, *Int. J. Audiol.* 46 (2007), 374–383.
- [18] A. Parbery-Clark, E. Skoe, C. Lam, N. Kraus, *Musical enhancement for speech-in-noise*, *Ear and Hearing* 30 (2009), nr 6, 653–661.
- [19] E. Bogusz, E. Skrodzka, E. Hojan, M. Jakubowski, A. Talukder, D. Hojan-Jeziarska, *Sounds and vibrations necessary for library of vibroacoustic events addressed to visually impaired persons—questionnaire results*, *Polish Journal of Environmental Studies* 20 (2011), nr 6, 1395–1401.
- [20] C. Buchel, C. Price, R. S. Frackowiak, K. Friston, *Different activation patterns in the visual cortex of late and congenitally blind subjects*, *Brain* 121 (1998), 409–419.
- [21] H. Burton, J. B. Diamond, K. B. McDermott, *Dissociating cortical regions activated by semantic and phonological tasks: A fMRI study in blind and sighted people*, *J. Neurophysiol.* 90 (2003), 1965–1982.
- [22] H. Burton, R. J. Sinclair, D. G. McLaren, *Cortical activity to vibrotactile stimulation: An fMRI study in blind and sighted individuals*, *Human Brain Mapping* 23 (2004), 210–228.
- [23] E. Bogusz, H. Koprowska, E. Skrodzka, *Investigation of Performance in Selected Psychoacoustic Tasks by Visually Impaired Children and Teenagers*, *Acta Physica Polonica A* 121 (2012), nr 1A, A19–A23.
- [24] E. Bogusz, H. Koprowska, E. Skrodzka, *Performance in pitch memory task by visually handicapped children and youths*, *Archives of Acoustics* 37 (2012), nr 4, s. 549–553.
- [25] E. Skrodzka, M. Maciągowski, A. Furmann, *The Concept of the Auditory Training for Blind and Visually Impaired Children and Teenagers*, *Acta Physica Polonica A* 125 (2014), nr 4, 31–37.
- [26] A. Furmann, E. Skrodzka, P. Giżewski, Ł. Nowotny, *Effect of sound reproduction method on performance in sound source localization tasks by visually impaired and normal sighted subjects*, *Acta Physica Polonica A* 2013, 123 (2013), nr 6, 988–994.

O temacie doktoratu zdecydowałem sam

Rozmowa z profesorem Brianem C. J. Moore'em

Rozmawiał Aleksander Sęk

Aleksander Sęk: Dla znakomitej większości fizyków psychoakustyka lub akustyka psychofizjologiczna, jako gałąź wiedzy i nauki, brzmi co najmniej dziwnie i niejednoznacznie. Jak wiele fizyki, akustyki, psychologii i być może innych dziedzin wiedzy wiąże się z psychoakustyką?

Brian C. J. Moore: Psychoakustyka jest nauką o związkach pomiędzy fizycznymi wielkościami opisującymi dźwięk (np. natężenie, struktura widmowa) a odczuwanymi subiektywnie wielkościami (np. głośnością) lub atrybutami tych dźwięków. Analizuje ona wiele percepcyjnych zjawisk słuchowych, takich jak maskowanie (zagłuszanie) jednego dźwięku przez inny czy też pomiary słyszalności zaledwie spostrzeganych zmian dźwięków (np. zmian częstotliwości czy też natężenia). Wiedza z zakresu fizyki jest przy tym niezbędna nie tylko dlatego, by poznać i zrozumieć właściwości dźwięku, ale także dla pełnego zrozumienia procesów analizy dźwięków, jaka ma miejsce w układzie słuchowym, zwłaszcza w uchu wewnętrznym. Wiedza z zakresu psychologii jest również istotna, ponieważ percepcję dźwięków analizuje się zwykle z udziałem słuchaczy. Dlatego też zadania stawiane im podczas eksperymentów muszą odzwierciedlać analizowane aspekty percepcji słuchowej. Również wiedza z zakresu biologii oraz statystyki jest bardzo pomocna.

Jaki jest główny cel badań psychoakustycznych – zarówno tych podstawowych, jak i stosowanych? Do jakiego celu dążą naukowcy uprawiający tę dziedzinę wiedzy?

Na poziomie podstawowym psychoakustyka dąży do poznania i zrozumienia mechanizmów percepcji słuchowej, np. mechanizmu determinującego wysokość dźwięków złożonych czy też mechanizmów, które pozwalają przewidzieć, czy pewien dźwięk może być zamaskowany przez inny. Osiągnięcia psychoakustyki mają również wiele zastosowań w praktyce – np. dotychczasowa wiedza o właściwościach maskowa-

nia umożliwiła zaprojektowanie, wdrożenie i wykorzystanie tzw. koderów percepcyjnych, takich jak system MP3, które umożliwiają znaczącą redukcję szybkości transmisji danych, niezbędną do przesyłania czy też magazynowania ogromnych porcji danych. Innym polem szerokich zastosowań psychoakustyki jest tworzenie modeli umożliwiających przewidywanie głośności sygnałów na podstawie ich fizycznych charakterystyk. Te działania mają szerokie zastosowanie w produkcji samochodów, samolotów czy też sprzętów gospodarstwa domowego. Nie sposób tu również nie wspomnieć o zastosowaniu psychoakustyki w zrozumieniu i poznaniu ubytków słuchu oraz projektowaniu aparatów słuchowych.

Jaki wpływ mają badania w zakresie psychoakustyki na nasze codzienne życie? Jakie korzyści z badań tego typu ma przeciętny Kowalski?

Przede wszystkim cyfrowy zapis dźwięku w postaci plików MP3 czy też przesyłanie sygnałów cyfrowych – to są bardzo dobre przykłady zastosowań psychoakustyki, z których korzysta bardzo wiele osób. Psychoakustyka ma także bardzo ważny obszar zastosowań w dziedzinie projektowania i dopasowania aparatów słuchowych dla osób z uszkodzeniami słuchu. Grupa tych osób to ok. 15% populacji w krajach takich jak Wielka Brytania czy Polska.

Czy sądzisz, że psychoakustyka może dostarczyć użytecznych rozwiązań prawnych lub narzędzi czy też wspomóc mechanizmy społeczne, które zapobiegą ciągłemu wzrostowi ryzyka uszkodzenia słuchu z powodu coraz większego poziomu hałasu?

Dopuszczalne obecnie poziomy hałasu oparte są na tzw. krzywej korekcyjnej A. Jest to zaledwie prosta fizyczna miara, ale oparta na charakterystyce słuchu ludzkiego, odzwierciedlająca zmniejszoną czułość słuchu na niskie częstotliwości. Jednak wydaje się, że zaprojektowanie innej miary hałasu, która w znacz-

nie większym stopniu odzwierciedlałyby potencjalne zagrożenie dla słuchu, jest całkiem realne. Badania psychoakustyczne mogą również doprowadzić do powstania bardzo czułej i efektywnej metody diagnozującej bardzo wczesne symptomy utraty czułości słuchu, spowodowane nadmierną ekspozycją na hałas. Dzięki tym badaniom osoba zagrożona utratą czułości słuchu może być skierowana do innej pracy lub wyposażona w odpowiednie zabezpieczenia.

Jakie są najważniejsze zadania psychoakustyki na najbliższą dekadę? Czy mógłbyś nakreślić najbardziej możliwy scenariusz rozwoju tej dziedziny?

Nieustannie wzrasta zainteresowanie problemem, w jaki sposób ludzie potrafią rozumieć mowę prezentowaną na tle różnorodnych zakłóceń, w tym na tle mowy innych osób. Zrozumienie mowy na tle szumu powodowanego przez ludzi jest obecnie znacznie lepsze niż osiągnięte przez dostępne komputerowe systemy automatycznego rozpoznawania mowy. Jeśli lepiej zrozumiemy fenomen rozumienia mowy, zwłaszcza w trudnych akustycznie warunkach, to wiedza ta może być wykorzystana do zaprojektowania lepszych systemów automatycznego rozpoznawania mowy oraz aparatów słuchowych. Aparaty te dokonywałyby lepszej selekcji mowy, którą użytkownik chce w danym momencie zrozumieć, i odrzucenia dźwięków zakłócających.

Jaka jest Twoja opinia o finansowym wsparciu badań tego typu przez centralne instytucje w poszczególnych krajach i przez Unię Europejską?

Jestem przekonany, że psychoakustyka jest niedofinansowana. Naukowcy zaangażowani w badania psychoakustyczne muszą rywalizować o fundusze z innymi obszarami wiedzy, które uważane są za ważniejsze, bardziej efektywne. Sądzę, że fundusze powinny być przeznaczane na ściśle określone cele, zwłaszcza dlatego, że obserwujemy wielką potrzebę badań słuchu i jego zagrożeń, szczególnie tych związanych ze starzeniem się.

Na całym świecie, zwłaszcza wśród osób związanych w różnym stopniu z psychoakustyką, jesteś rozpoznawany jako najważniejsza postać. Cieszysz się wielkim uznaniem i znakomitą reputacją. Twoje osiągnięcia są niezwykle bogate i trudno je przecenić. Powiedz, proszę, jakie były najważniejsze kroki w Twojej błyskotliwej karierze? Do jakich szkół i uniwersytetów uczęszczałeś?

Uczęszczałem do szkoły podstawowej w Londynie, ale takiej dla nieco zdolniejszych uczniów. Licencjat i doktorat uzyskałem na uniwersytecie w Cambridge. Studiowałem nauki ścisłe, tzn. fizykę, chemię, matematykę, biologię i psychologię. Przygodę z psychoakusty-

ką rozpocząłem w 1968 r., gdy przystąpiłem do realizacji swojej pracy doktorskiej.

Połączenie fizyki i psychologii wydaje się nieco zaskakujące. Jak doszło do tego, że na dwóch różnych fakultetach studiowałeś tak znacząco różne kierunki? Mówiąc szczerze, słyszałem, jak Twój przyjaciele opowiadali o wielkim zainteresowaniu chemią, ale przed studiami na uniwersytecie...

Jako nastolatek rzeczywiście byłem wielkim entuzjastą chemii. Muszę przyznać, że przygotowywałem i wypróbowałem parę mieszanin wybuchowych. Sądzę, niestety, że wybuchy, których wówczas dokonywałem, mają swój udział w ubytku słuchu, który obecnie mam. Niemniej jednak u schyłku swojego nastoletniego wieku byłem bardziej zainteresowany fizyką. Szedłem na uniwersytet z zamiarem specjalizowania się właśnie w fizyce. Jednak w czasie drugiego roku studiów rozpocząłem również studia z psychologii (łącznie z fizyką i matematyką), zwłaszcza w części dotyczącej zmysłów, w czym znalazłem wiele przyjemności. To właśnie poznawanie wiedzy z tego zakresu, połączone z moimi zainteresowaniami związanymi z urządzeniami służącymi do rejestracji i odtwarzania dźwięków, oraz zamiłowanie do muzyki zdecydowały, że doktorat przygotowałem z psychoakustyki.

Kto podczas studiów był Twoim mentorem, przewodnikiem duchowym, wzorem do naśladowania? Jaki wpływ wywarła ta osoba na Twoje przyszłe życie naukowe? Czy miałeś okazję uczestniczyć w zajęciach, wykładach z bardzo słynnymi fizykami, jakich wielu pracowało wówczas w Cambridge?

W czasie studiów miałem wykłady z Paulem Diracem, laureatem Nagrody Nobla, choć jego wykłady były dość trudne do śledzenia (nie należał do wybitnych wykładowców). Podczas przygotowywania doktoratu podziwiałem osiągnięcia i badania profesora Rainera Plompa z Holandii. Okazał mi wiele pomocy, kiedy odwiedziłem jego laboratorium. Poznałem wówczas wiele równie ciekawych postaci świata fizyki i akustyki, a mianowicie Tammo Houtgasta i Guido Smooreburga, którzy byli fizykami. W Cambridge natomiast miałem wiele ciekawych i stymulujących dyskusji z Donaldem Broadbentem, słynącym z prac dotyczących uwagi oraz autorem wielu ciekawych badań słuchu.

Wiem, że prof. Mark Haggard był promotorem Twojej pracy doktorskiej. Co mógłbyś powiedzieć o swoim doktoracie? Kto zaproponował Ci temat pracy doktorskiej?

O temacie doktoratu zdecydowałem sam, a zajęłem się podstawowymi mechanizmami percepcji wysokości zarówno tonów, jak i sygnałów złożonych.

W jakim stopniu prof. Haggard wpłynął na ostateczny kształt Twojej pracy doktorskiej i na przyszłą karierę?

Profesor Haggard zachęcał mnie do dociekliwości w niezwykle owocnych dyskusjach i dostarczał bardzo ciekawych i stymulujących komentarzy do poszczególnych rozdziałów mojego doktoratu. Pomógł mi również w uzyskaniu posady wykładowcy na Uniwersytecie Reading.

Psychoakustyka, a właściwie badania podstawowe w tej dziedzinie były Twoimi głównymi zainteresowaniami na początku kariery. Czy zechciałbyś powiedzieć o paru szczegółach tych badań?

Zajmowałem się wówczas wieloma podstawowymi aspektami percepcji dźwięku, włączając w to wysokość, głośność, rozdzielczość częstotliwościową, maskowanie, słuchową analizę dźwięków w czasie i grupowanie percepcyjne. I choć badania te były w dosłownym sensie podstawowe, to całkiem spora część rezultatów, które uzyskałem, znalazła praktyczne zastosowanie – np. model przewidujący jakość percypowanego dźwięku transmitowanego przez niezbyt wówczas doskonałe tory transmisyjne czy też telefony komórkowe. Modele te są obecnie używane przez takich wytwórców jak Nokia czy Samsung w ich produktach.

Od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia znacząco powiększyłeś obszar swoich zainteresowań. To właśnie wówczas rozpocząłeś prace nad różnymi aspektami uszkodzeń słuchu. Twoje osiągnięcia w tej dziedzinie są niekwestionowane. Jakie aspekty związane z uszkodzeniami słuchu były dla Ciebie najważniejsze do gruntownego poznania i jakie znaczenie miały one w praktyce?

W moich wczesnych pracach nad uszkodzeniami słuchu byłem bardzo zainteresowany percepcyjnymi zmianami związanymi z tymi uszkodzeniami, tj. zredukowaną rozdzielczością częstotliwościową, prowadzącą do wydatnego zwiększenia maskowania, czy też zredukowaną kompresją zachodzącą w ślimaku, która prowadzi wprost do tzw. wyrównania głośności. Utrata selektywności może być częściowo skompensowana poprzez zwiększenie kontrastu widmowego, a wyrównanie głośności – poprzez wielokanałową kompresję sygnału akustycznego. Moje prace prowadzone we współpracy z Rogerem Laurencem i Brianem Glasbergiem doprowadziły do komercyjnej wersji dwukanałowego aparatu słuchowego z niezależną kompresją w obu kanałach. Jednak obecnie dostępne aparaty słuchowe

działają w oparciu o wielokanałowe układy kompresji. Moje najnowsze zainteresowania związane są z wpływem utraty czułości słuchu na przetwarzanie informacji zawartej w subtelnej strukturze dźwięku (*temporal fine structure*). Dźwięk w neuronach nerwu słuchowego reprezentowany jest w postaci tzw. synchroniczności fazowej, czyli ciągu impulsów, które w pewnym zakresie częstotliwości są ściśle przyporządkowane zawsze do tej samej fazy sygnału. Napisałem książkę na ten temat, która właśnie została wydana przez World Scientific.

Jesteś autorem wielu modeli w psychoakustyce, wśród których model pobudzenia wydaje się być jednym najważniejszych, bowiem jest on szeroko stosowany przez wielu naukowców. Jaka jest obecna postać tego modelu?

Model pobudzenia to próba stworzenia reprezentacji widma dźwięku w układzie słuchowym. Koncepcję tę zawdzięczamy Fletcherowi (który był amerykańskim fizykiem) i niemieckiemu inżynierowi, później profesorowi, E. Zwickerowi. Jednak model ten był udoskonalony w moim laboratorium i zyskał formę numeryczną poprzez zastosowanie prostych równań. Dostarcza on użytecznych narzędzi do analizy maskowania i percepcji barwy dźwięku. Stanowi również wstępną część modelu przewidującego głośność, który opracowałem przy współudziale Briana Glasberga i Thomasa Baera. Model ten jest zaakceptowany jako standard ANSI (*American National Standards Institute*) i zostanie wkrótce standardem ISO (*International Standard Organization*).

Zajmujesz się badaniami zarówno podstawowymi, jak i stosowanymi. Które z nich są ważniejsze i bardziej interesujące?

Zrozumienie i poznanie podstawowych procesów ma zasadnicze, wręcz krytyczne znaczenie, by osiągnąć postęp w badaniach stosowanych. Nie można opracować użytecznej rzeczy, narzędzia, modelu ani aplikacji bez dogłębnego zrozumienia procesów, które dane urządzenie czy aplikacja ma realizować. Dlatego też oba typy tych badań są istotne i interesujące.

Od jakiegoś czasu używasz aparatu słuchowego. Przypuszczam, że urządzenie to jest bardzo pomocne, bo widuję Cię z nim niemal cały czas. Jest jednak wiele osób, które nie akceptują tej formy pomocy – z bardzo różnych powodów. Czy zatem możliwe jest zaprojektowanie i zbudowanie idealnego aparatu słuchowego, akceptowanego przez wszystkich użytkowników?

W dziedzinie aparatów słuchowych w dalszym ciągu jest bardzo wiele do zrobienia. Jest to bardzo ob-

szerne zagadnienie i poszukiwanie dróg ulepszenia tych aparatów wciąż stanowi poważne wyzwanie. Aparat, który obecnie używam, pomaga mi słyszeć ciche dźwięki i osoby mówiące do mnie z pewnej odległości. Jednak nie jest zbyt pomocny w hałaśliwych sytuacjach i dlatego wówczas często go wyłączam. Myślę, że znakomita większość aparatów słuchowych nie pomaga użytkownikom w hałaśliwych sytuacjach i jest to, w moim przekonaniu, główny powód, dla którego użytkownicy je odrzucają. Nowe generacje aparatów są coraz lepsze, ale w dalszym ciągu jest to „otwarta księga”.

Jestem przekonany, że większość czytelników wie, co oznacza uszkodzenie słuchu. Czy możliwe jest jednak wyodrębnienie pewnych typów tych uszkodzeń i towarzyszących im symptomów? Wydaje mi się bowiem, że wczesne symptomy utraty czułości słuchu nie są oczywiste dla większości z nas, zwłaszcza że utrata ta postępuje z wiekiem. Czy mógłbyś powiedzieć coś na temat tych najwcześniejszych symptomów, by skłonić czytelników do częstszej diagnozy słuchu?

U wielu osób utrata słuchu rozwija się stopniowo i powoli, w związku z czym mogą one nie być świadome tego, że już mają ubytek słuchu. W naszych badaniach bardzo często prosimy „ochotników” z normalnym słuchem o wzięcie udziału w badaniach i często u tych osób diagnozujemy ubytek słuchu. Zdarza się to zwykle u osób w bardzo dojrzałym lub podeszłym wieku. Generalnie, problemy zrozumienia mowy w hałaśliwym środowisku i kłopoty z rozróżnieniem takich głosek jak „p”, „t” i „k” mogą być pierwszymi symptomami ubytku słuchu. Podstawowe badanie audiometryczne prowadzące do wykreślenia audiogramu nie ujawnia, niestety, wszystkich aspektów utraty czułości słuchu. Badanie to jest miarą spostrzegania cichych dźwięków w ciszy. Jego rezultaty nie mówią nic o zdolności do dyskryminacji dźwięków, która ma zasadnicze znaczenie w życiu codziennym. Jednak niektóre testy, które razem, ty i ja, opracowaliśmy, np. „szybka metoda wyznaczania psychofizycznych krzywych strojenia” (SWPTC) czy też „wrażliwość na subtelną strukturę sygnału” (TFS), dają bardziej precyzyjną informację o stopniu uszkodzenia słuchu. Te testy są dostępne nieodpłatnie w Internecie (<http://hearing.psychol.cam.ac.uk>).

Implanty ślimakowe są względnie nową generacją urządzeń wspomagających słuch, których najintensywniejszy rozwój datuje się na początek lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Od tamtego czasu obserwowany jest niezwykle postęp w tej dziedzinie. Jest on związany nie tylko z wykorzystaniem bardziej zaawansowanych metod przetwarzania sygnału, ale także z zastoso-

waniem tych implantów u osób z rozległymi uszkodzeniami słuchu. Czy mógłbyś powiedzieć parę słów komentując na ten temat?

Prace nad implantami rozpocząłem już w 1977 r. Wydawało się wówczas, że implant ślimakowy nie pozwoli słuchaczowi na rozumienie mowy bez czytania z ruchu warg. Jednak od tamtego czasu olbrzymi postęp w tej dziedzinie, o którym wspominałeś, doprowadził do stworzenia implantu, który jest znacznie lepszym urządzeniem. Obecne zainteresowania naukowców koncentrują się wokół zastosowania implantów wraz z aparatem słuchowym. Często się zdarza, że osoby z implantem dysponują resztkowym słyszeniem w dziedzinie małych częstotliwości i aparat słuchowy może z powodzeniem wspomagać ich słuch w tym obszarze. Dodanie implantu ślimakowego do tego samego lub przeciwległego ucha poprawia percepcję wysokości, zwłaszcza w odniesieniu do muzyki. Może on również doprowadzić do lepszego zrozumienia mowy, zwłaszcza w hałaśliwych warunkach. Jednak w tym zakresie należy przeprowadzić jeszcze wiele badań, by w optymalny sposób połączyć aparat słuchowy i jego dopasowanie z jednym lub dwoma implantami ślimakowymi.

Przez wiele lat Twojej kariery byłeś laureatem wielu prestiżowych nagród, tytułów i zaszczytów. Pamiętam dzień w 1995 roku, gdy zostałeś profesorem Cambridge University, a więc dzień, który, jak sądzę, był dla Ciebie bardzo ważny.

Tak było w istocie. Był to ważny dzień również dlatego, że dostałem wówczas także własną katedrę. Było to dla mnie bardzo istotne wydarzenie, ponieważ byłem pierwszą osobą na moim Wydziale (istniejącym od ponad 100 lat) nagrodzoną własną katedrą. W tamtym czasie uzyskanie katedry było znacznie trudniejsze na Uniwersytecie w Cambridge niż na innych uniwersytetach.

W uznaniu Twojego ogromnego wkładu do nauki o słyszeniu w 2002 r. zostałeś Członkiem Królewskiej Akademii Nauk (FRS), co zapewne również było bardzo ważnym wydarzeniem w Twoim życiu.

Rzeczywiście! Członkostwo w FRS jest uznawane za najwyższe naukowe wyróżnienie i zaszczyt w Wielkiej Brytanii. Byłem bardzo szczęśliwy, gdy otrzymałem wiadomość o tym wyróżnieniu. Podczas ceremonii przyjęcia na Członka Akademii podpisałem się w tej samej książce co Newton, Helmholtz i Darwin.

Pamiętam ten dzień, bowiem przysłałeś mi e-mail o treści „Olek, zostałem członkiem Królewskiej Akademii Nauk! Jak Newton” wraz z zaproszeniem na okolicz-

nościową uroczystość z tej okazji. Niestety, byłem wówczas poza Europą i nie mogłem wziąć w niej udziału. Jednak chciałbym wiedzieć, który z tytułów – profesor Cambridge University czy Fellow of the Royal Society – jest dla Ciebie ważniejszy/cenniejszy?

Oba te tytuły są bardzo ważne, choć wydaje mi się, że bycie Członkiem Akademii Królewskiej jest nieco ważniejsze. W Wielkiej Brytanii byłoby niezwykle być Członkiem FRS i nie być profesorem!

W maju 2014 r. zostałeś nagrodzony złotym medalem Amerykańskiego Towarzystwa Akustycznego – w uznaniu nie tylko Twojej wieloletniej współpracy z wieloma psychoakustykami amerykańskimi, ale także niezliczonych prac i recenzji przesłanych do The Journal of the Acoustical Society of America (JASA). Powiedz, proszę, parę słów o tej bogatej współpracy.

Po raz pierwszy odwiedziłem USA w latach 1973-1974 i współpracowałem wówczas z Davidem Rabem w Brooklyn College. Jednak współpracowałem z wieloma naukowcami ze Stanów i miałem wielu postdoków z tego kraju. Jednego z nich, Sida Bacona, który, niestety, niedawno zmarł, pamiętam w sposób szczególny. Na najbliższym zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Akustycznego, na specjalnej sesji upamiętniającej tego naukowca, przedstawię jego zasługi, co będzie dla mnie największym zaszczytem i chyba najlepszą formą uczczenia jego pamięci i złożenia mu hołdu. Współpracowałem również bardzo długo i owocnie z Bobem Petersem i Joem Hallem z University of North Carolina w Chapel Hill i z Ervinem Hafterem z University of California w Berkeley. Utrzymuję również bardzo owocną współpracę z moimi byłymi doktorantami, a zwłaszcza z Andrew Oxenhamem. Również współpraca z niektórymi producentami aparatów słuchowych (takimi jak Starkey – największy producent takich urządzeń w USA, Sonitus Medical – producent aparatu słuchowego wspomagającego przewodzenie w ubytki słuchu z przetwornikiem zamontowanym na zębie czy też Earlens – producent nowoczesnego aparatu słuchowego z przetwornikiem umieszczonym na błonie bębenkowej) dostarcza mi nieustannie wiele satysfakcji.

A współpraca z naukowcami z innych krajów?

Oprócz długoletniej współpracy z polskimi naukowcami (o co zapewne zapytasz za chwilę) chciałbym podkreślić współpracę m.in. z Christianem Lorenzi (Francja), Torstenem Dauem (Dania), Stefanem Lauerem i jego grupą badawczą z Phonak (Szwajcaria), Chin-Tuan Tanem (Singapur, obecnie USA) i Laurentem Demany (Francja). Oczywiście, w Wielkiej Brytanii przez wiele lat bazowałem na, jakże owocnej i bli-

skiej, współpracy z Brianem Glasbergiem, Thomasem Baerem i Michaeliem Stone.

Chciałbym też, oczywiście, zapytać o Twoich polskich współpracowników. Wielu z nich pracowało pod Twoim kierunkiem i również dzięki temu dokonało znaczącego postępu w ich osobistych karierach. Z moich obserwacji przez ostatnich 25 lat wynika, że wielu z nas cieszy się Twoim ogromnym wsparciem i pomocą, tzn. wspólnymi grantami, aparaturą, oddzielnym biurkiem lub nawet biurem w Twoim laboratorium itp. Dla mnie oznacza to, że zawsze miałeś niezwykle pozytywny stosunek do nas, Polaków. Czy traktowałeś nas w jakiś szczególny, uprzywilejowany sposób?

Jak wspomniałeś, miałem wielu współpracowników z Instytutu Akustyki z Poznania, wśród których chciałbym wymienić Urszulę Jorasz, Magdę Wojtczak (obecnie pracującą w USA), Andrzeja Wichra i ciebie (Aleksandra Sęka). Nie sądzę, bym moich polskich współpracowników traktował w sposób uprzywilejowany. Jednak zawsze miałem do Was pozytywny stosunek. Sądzę, że współpraca pomiędzy mną i Tobą ma szczególny charakter, choćby z uwagi na jakże długi czas jej trwania, produktywność i naszą bliską osobistą przyjaźń, co czyni tę współpracę bardzo cenną.

Odwiedzałeś Polskę wiele razy, zwłaszcza Instytut Akustyki. Twoja pierwsza wizyta miała miejsce w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, a ostatnia zaledwie parę lat temu. Jakie ogólne wrażenie wywarła na Tobie Polska, zmiany w naszym kraju i w naszym Instytucie na przestrzeni tych lat?

Podczas mojej pierwszej wizyty Polska była jeszcze krajem komunistycznym i warunki do prowadzenia badań naukowych były dość ograniczone. Trudno było o książki, czasopisma czy też odpowiednią aparaturę. Jednak od tego czasu wszystko bardzo się zmieniło. Na lepsze oczywiście! Instytut Akustyki przeniesiono do pięknego nowoczesnego budynku, z doskonałym wyposażeniem i aparaturą naukowo badawczą, włączając w to ogromną nowoczesną kabinę bezekhową. Polska zmieniła się znacząco i odnoszę wrażenie, że warunki życia w waszym kraju szybko i systematycznie się poprawiają.

Osiadłeś na stałe w Cambridge, gdzie mieszkasz z żoną w ślicznym domu, ciesząc się towarzystwem wielu przyjaciół. Czy nie chciałeś przenieść się w inne miejsce, może z lepszą pogodą? Miałeś z pewnością wiele atrakcyjnych i kuszących propozycji.

Czasami myślałem o przeprowadzeniu się do Kalifornii, gdzie klimat jest znacznie lepszy niż w Cam-

bridge. Zresztą ciągle myślę o spędzaniu choćby części każdego roku właśnie tam, zwłaszcza zimą. Ale wypełnianie amerykańskich formularzy związanych ze zwrotem podatku napelnia mnie wstrętem.

W czasie studiów należałeś do St. Catharine's College. Jak to się stało, że teraz jesteś fellow w Wolfson College?

Po zakończeniu pracy doktorskiej spędziłem parę lat na uniwersytecie w Reading. Krótco potem wróciłem do Cambridge na stanowisko wykładowcy (podobnego do Assistant Professor) i zaoferowano mi członkostwo w Wolfson College, które z przyjemnością zaakceptowałem. Po jakimś czasie okazało się jednak, że St. Catharine's College również zamierzał zaproponować mi członkostwo. Jednak było już za późno: byłem już członkiem Wolfson.

Wiem, że w Wolfson jesteś osobą odpowiedzialną za wino (wine steward), które serwuje się w czasie oficjalnych kolacji i uroczystości. Wiem też, że Twoja wiedza na temat wina jest przeogromna. Jesteś po prostu wytrawnym znawcą wina, czego miałem wielokrotnie okazję doświadczyć. Jak to się stało, że awansowałeś na tę pozycję i jak wiele czasu poświęcasz na wypełnianie obowiązków z tym związanych?

Już jakiś czas temu koledzy z College uznali, że jestem rozsądną osobą i że piję sporo wina (a właściwie niezbyt dużo, ale raczej regularnie), że wiem trochę o różnych gatunkach wina i że mam w tym zakresie spore doświadczenie. Do moich obowiązków wynikających z piastowania tego stanowiska należy branie

udziału w degustacjach win (10-15 razy do roku, głównie w porze obiadowej), sprawdzanie rynku win oraz wybór win na różne uroczystości w College. Na potrzeby College kupuję ok. 6000 butelek wina rocznie. Sprawowanie tej funkcji zabiera mi łącznie ok. 2 godzin tygodniowo.

Na zakończenie naszej rozmowy chciałbym zapytać o plany na przyszłość.

Obecnie jestem emerytowanym profesorem i Uniwersytet w Cambridge nie płaci mi już pensji. Zamierzam jednak kontynuować badania, przynajmniej przez jakiś czas. Umożliwiono mi zatrzymanie mojego biura i sporej części laboratorium. Mam też nadzieję, że na moim wydziale zostanie ogłoszony konkurs na stanowisko profesora zajmującego się szeroko rozumianą nauką o słuchu i słyszeniu, który w końcu przejmie prowadzenie mojego laboratorium. Mam też zamiar kontynuować pracę jako edytor w periodyku *Hearing Research* oraz współpracować, jako konsultant, z Sonitus Medical, Earlens i Samsungiem.

Jak zapewne pamiętasz, zaprosiłem Cię do kolejnego, i wcale nie ostatniego, odwiedzenia Polski, Wydziału Fizyki i Instytutu Akustyki UAM. Czy mógłbyś zatem uzupełnić swój osobisty kalendarz o ten maleńki punkt, mianowicie o tygodniową wizytę w Polsce?

Dobrze, na pewno to zrobię!

W imieniu wszystkich czytelników Postępów Fizyki serdecznie dziękuję za tę rozmowę i ponawiam zaproszenie do Polski.



Brian C. J. Moore (Ph.D.) jest profesorem percepcji słuchowej na Uniwersytecie w Cambridge. Najważniejsze kierunki badań przez niego prowadzonych to: percepcja dźwięku, mechanizmy funkcjonowania słuchu normalnego i uszkodzonego, percepcja mowy, projektowanie algorytmów pracy cyfrowych aparatów słuchowych oraz metod ich dopasowania, projektowanie torów transmisyjnych dźwięku o wysokiej wierności oraz percepcja dźwięków muzycznych. Jego dorobek naukowy to 16 książek dotyczących problemów percepcji słuchowej. Jedną z nich jest szczególnie, *An Introduction to the Psychology of Hearing*, która została przetłumaczona na język japoński i polski. Profesor Moore jest autorem 114 rozdziałów w książkach, w tym również wydawanych w Polsce, oraz blisko 500 artykułów w najważniejszych czasopismach. Jest on niekwestionowanym i wybitnym liderem w świecie nauki o słuchu i słyszeniu, a jego międzynarodowa

reputacja jest ugruntowana w najwyższym stopniu. Od ponad 25 lat ściśle współpracuje z Instytutem Akustyki UAM, który wielokrotnie odwiedzał. Jest członkiem najważniejszych towarzystw i gremiów naukowych. Od 2002 r. jest również członkiem (*fellow*) Królewskiej Akademii Nauk (*Fellow of the Royal Society* – FRS).

Profesor Marek Kwiek

Uczony, nauczyciel i organizator

Mikołaj Łabowski, Edward Hojan, Edward Ozimek

Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

W 1946 r. powstała Pracownia Akustyki w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Ta skromna pracownia, założona i kierowana przez profesora Marka Kwieka, przeistoczyła się po kilku latach w Zakład Akustyki i Teorii Drgań, by w końcu, w 1956 r., zostać Katedrą Akustyki i Teorii Drgań.

Instytut Akustyki, jako jednostka Wydziału Fizyki UAM, jest znacznie młodszym tworem, który został powołany dopiero wówczas, gdy w gronie pracowników Katedry Akustyki wyłonionych zostało czterech samodzielnych pracowników naukowych, tj. w 1985 r.

Wprost nieprawdopodobna różnorodność zainteresowań naukowych profesora Marka Kwieka, przy gruntownym wielostronnym wykształceniu, oraz ogromne bogactwo myśli twórczej realizowanej w jego działalności naukowej nie pozwalają na przedstawienie pełnego obrazu jego sylwetki jako uczonego. Zaryzykuję więc przynajmniej szkic do portretu profesora. Cechowały go przede wszystkim wielka precyzja myślenia i formułowania swoich koncepcji, subtelne, a zarazem ostre rozgraniczenie rzeczy już znanych od jeszcze niezbadanych oraz umiejętność wyszukiwania problematyki całkowicie nowej i fundamentalnej, czego dowodem są tematy wielu prac – zarówno jego własnych, jak i przez niego kierowanych.

Umiejętność wiązania zagadnień ściśle akustycznych z problematyką innych dziedzin, zdawałoby się nieraz – bardzo odległych, była wynikiem rzeczywistego wyjątkowej intuicji naukowej prof. M. Kwieka. Niejedną poważną pracę naukową, szczególnie prace doktorskie i habilitacyjne z innych dyscyplin nauki, zahaczały, a nawet bardzo głęboko wnikały w tematykę akustyczną.

Głównymi kierunkami badań naukowych profesora Kwieka były: akustyka fizjologiczna i psychologiczna, akustyka fizyczna z solidną matematyczną podstawą, analiza drgań i akustyka muzyczna, akustyka



Profesor Marek Kwiek

molekularna i akustyka wnętrza. Wnikliwe ujęcie całości kształtu zagadnień akustyki – stosunkowo młodej dyscypliny naukowej – oraz problematyki z pogranicza innych dziedzin nauki jest zawarte w jednej z ostatnich prac prof. M. Kwieka: *O nowoczesnej treści pojęcia akustyka*. Praca ta zawiera ponadto pełną bibliografię dla każdego z wymienionych działów.

Ogółem zachowało się ok. 50 prac profesora, przy czym niektóre były wykonywane z udziałem współpracowników. Spróbujmy zatem prześledzić najważniejsze etapy rozwoju naukowego profesora Kwieka.

Zainteresowania matematyczno-fizyczne profesora zaczęły się ujawniać już od siódmego roku życia. Rozczytywał się w podręcznikach z matematyki, fi-

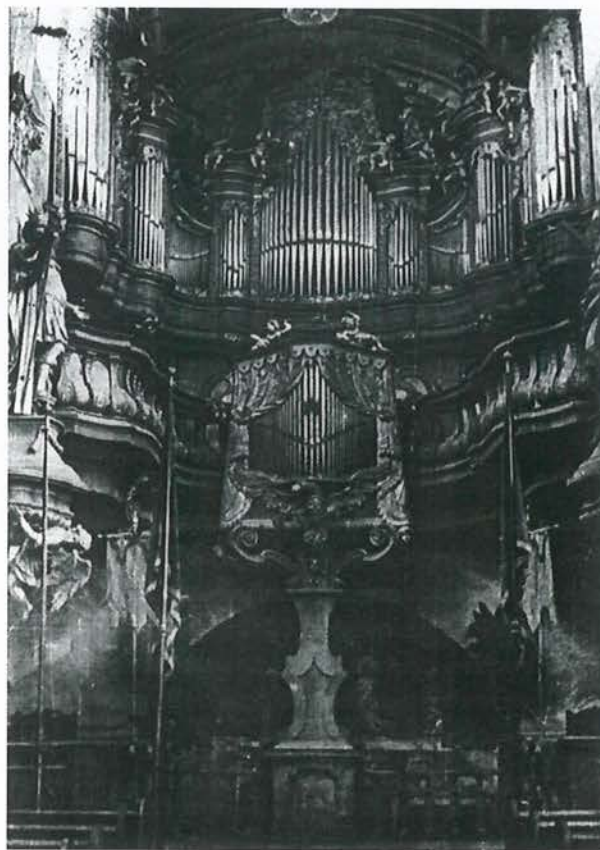
zyki i astronomii, głównie w języku francuskim, jakim posługiwał się od najwcześniejszych lat. Na ten okres przypada też nauka języków obcych, szczególnie łaciny i niemieckiego, połączona z forsownym wciąganiem się w gramatyczną i logiczną metodę analizy zdań. Do pierwszej klasy gimnazjum matematyczno-przyrodniczego im. Bergera wstąpił, mając niespełna 9 lat. Ojciec, matematyk i astronom, zachęcał syna do pisemnego opracowywania interesujących go tematów. W wieku 12–14 lat napisał swoją pierwszą rozprawkę o przyspieszaniu zbieżności szeregów oraz o ruchu księżycy.

Bezpośrednio przed maturą, kiedy miał 16 lat, został wciągnięty przez ojca do prac nad konstrukcją turbiny spalinowej. Przy tej okazji zapoznał się z dynamiką i termodynamiką ściśliwych gazów oraz z podstawami teorii wytrzymałości i elastyczności. Pracę nad konstrukcją turbiny spalinowej ukończył już samodzielnie, po śmierci ojca.

Od 11. roku życia uczył się muzyki, zdradzając zresztą zdolności raczej kompozytorskie i teoretyczne niż wykonawczo-muzyczne. Głównym jego nauczycielem był prof. Sobieski, były organista katedry katolickiej w Berlinie. Poza tym uczył się rzemiosła budowy organów u znanego mistrza, A. Polcyny w Poznaniu, zdobywając zdolność słuchowej analizy dźwięku.

Po maturze, którą zdał w wieku 17 lat, Marek Kwiek przeniósł się z Poznania do Warszawy i wstąpił na Wydział Mechaniczny Politechniki Warszawskiej, na co miały wpływ zainteresowania rozbudzone budową turbiny spalinowej. Poznał tam prof. Hubera, który jeszcze przez wiele lat udzielał mu wielkiej pomocy naukowej. Studia na Politechnice były jednak dalekie od jego rzeczywistych zainteresowań, które krystalizowały się w kierunku muzyczno-fizycznym. Dlatego po skończeniu pierwszego roku studiów przeniósł się na Uniwersytet Poznański. Był słuchaczem muzykologii i fizyki, szczególnie wykładów profesorów Kamińskiego, Denizota, Biernackiego, Abramowicza i Witkowskiego. Po trzech latach, mając 21 lat, ukończył muzykologię i fizykę z tytułem magistra.

W międzyczasie utrzymywał kontakt z mieszkającym w Warszawie stryjem, Piotrem Kwikiem, i grupą architektów warszawskich (inż. Zachert, Szanajca, Zborowski i inni). Wynikła stąd wieloletnia współpraca, która początkowo obejmowała zagadnienia ogrzewania i wentylacji (w tym czasie powstała rozprawka o wartości cieplnej okien szwedzkich), potem temat akustyki wewnątrz (studia Polskiego Radia w Warszawie, szereg kin dźwiękowych), a wreszcie społeczne aspekty walki z hałasem. Tam poznał też prof. Groszkowskiego, a nieco później prof. Maleckiego oraz pierwszego badacza czułości słuchu, prof. Trechcińskiego.



Jędrzejów – Opactwo cysterskie

W tym czasie zainteresował się analizą harmoniczną i rachunkiem prawdopodobieństwa. Profesor Kamiński wysłał go na dalsze studia do Berlina, do prof. Grützmachera, twórcy analizy widmowej głosu. Tam Marek Kwiek zdał sobie sprawę, że dla opanowania zagadnień hałasu należy przede wszystkim badać czułość słuchu. Pierwsze badania własne w tym zakresie, przeprowadzone w 1936 r., zostały opublikowane jako praca doktorska. Miał wtedy 23 lata. Inne prace z tego okresu dotyczyły czułości słuchu lub barwy dźwięku czy walki z hałasem.

Po powrocie z Niemiec pracował jako akustyk pod kierunkiem prof. Hubera w Biurze Konstrukcyjnym Państwowych Zakładów Lotniczych w Warszawie. Prace tam wykonane miały charakter techniczny: były to opracowania dotyczące akustyki prototypu samolotu pasażerskiego P 44, rozpoczęte przez tragicznie zmarłego inż. Puławskiego, zakończone przez inż. Jakimiuka, a także opracowanie tłumika (kolektora wydechu) do 1000-konnego silnika Cyclone (Bristol).

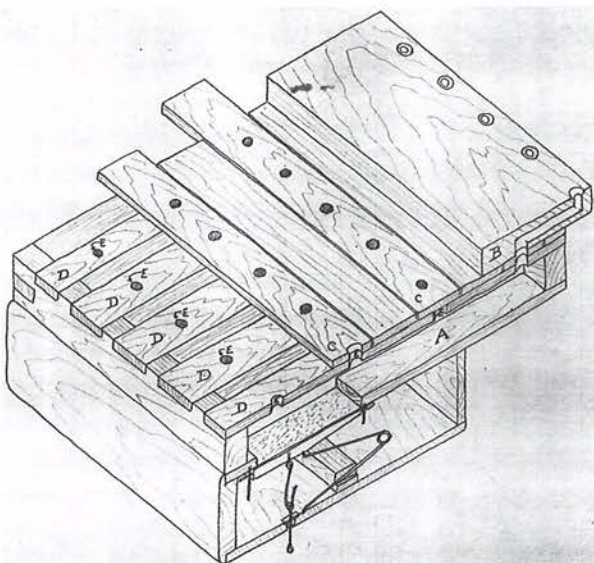
Połowę swego czasu Marek Kwiek spędzał w Poznaniu, wykładając akustykę oraz odpowiednio skrócony kurs analizy dla muzykologów. Profesorowi Kamińskiemu zależało na oparciu muzykologii na ścisłych podstawach matematyczno-fizycznych. Poza tym M. Kwiek był asystentem fizyki na medycynie –

u prof. Kalandyka – głównie ze względu na badania czułości słuchu.

Do 1939 r. Marek Kwiek opublikował w kraju i zagranicą siedem prac naukowych. W czasie wakacji w latach 1933–1939 przeprowadzał badania i renowację zabytkowych organów. Ponadto w wolnych chwilach dużo komponował. Przy wysiedleniu w 1939 r. Niemcy nie pozwolili mu zabrać tych kompozycji i je zniszczyli. Były tam trzy sonaty organowe, 24 preludia, koncert na organy i orkiestrę oraz pieśni z małą orkiestrą – w sumie 28 większych kompozycji lub cykliów mniejszych utworów.

Podczas okupacji Marek Kwiek zajmował się badaniem i naprawą organów zabytkowych na ziemi kielecko-sandomierskiej. Sporządził dokumentację techniczną dla wielu organów. Powstały wtedy dwie prace: *Bieg wykształcenia organmistrza, oparty na staropolskiej tradycji budowy organów* (nawiasem mówiąc – przeważnie ludowej i anonimowej) oraz *Organy zabytkowe ziemi kielecko-sandomierskiej*. Profesor doszedł do przekonania, że w zakresie budownictwa organów polscy rzemieślnicy stworzyli pewien samodzielny kierunek artystyczny, daleki zarówno od ideału organów niemieckich, jak i od organów francuskich, włoskich i hiszpańskich. Na podstawie tej rozprawy w 1945 r. się habilitował (miał wtedy 32 lata) na Wydziale Humanistycznym Uniwersytetu Poznańskiego. Habilitacja została zatwierdzona w sierpniu 1946 r. przez Ministerstwo Oświaty, a w sierpniu 1947 r. przeniesiona na Wydział Matematyczno-Przyrodniczy.

Bezpośrednio po wojnie i po habilitacji Marek Kwiek współpracował z prof. Szczeniowskim. 1 listopada 1947 r. został mianowany docentem etatowym akustyki przy Katedrze Fizyki Doświadczalnej,



Wiatrownica zapadkowa

Dr. MAREK KWIEK

Budowa Organów - Orgelbauanstalt
Ostrowiec Kiel., ul. Okólna 16.

Ostrowiec, dn. 11. 4. 1942 r.

Biurowo: ul. Kościelna 1.

Przewielebny Księżu Proboszczu!

Firma nasza powstała w r. 1941, jako placówka fachowa w zakresie budowy organów oraz wszelkich prac połączonych z organami.

Pragniemy uprzejmie zwrócić Ks. Proboszczowi uwagę na to, że jedną z głównych przyczyn wywołujących szybkie rozstrojenie się i rozintonowanie organów oraz cały szereg drobnych, napozór mało istotnych uszkodzeń zmniejszających jednak ogromnie wartość muzyczną i techniczną instrumentu jakoteż czas jego używalności – są uderzenia wywołane kalikowaniem.

Uderzeń tych unika się całkowicie, stosując cichobiezną dmuchawę z motorem elektrycznym, zaopatrzoną w automatyczną regulację dopływu powietrza.

Instalację takiej dmuchawy wykonujemy w ok. 8 tygodni.

Na życzenie Ks. Proboszcza gotowi jesteśmy przeprowadzić badania na miejscu, udzielić fachowych porad i przedłożyć odpowiednie oferty bez zobowiązania dla Ks. Proboszcza.

Łączymy wyrazy głębokiego szacunku

Dr. Marek Kwiek
Budowa Organów - Orgelbauanstalt
Ostrowiec, ul. Okólna 16

Działalność w czasie wojny

gdzie już od roku pracował pod kierunkiem prof. Szczeniowskiego. Przy tej Katedrze została utworzona Pracownia Akustyczna, którą kierował do 1955 r. Pracownia została przekształcona w Zakład, a Marek Kwiek został mianowany (30 marca 1955 r.) profesorem nadzwyczajnym.

W roku 1946 r. napisał większą pracę – początkowo miała to być praca popularna, ale wyrosła poza te ramy – o fizycznych podstawach muzyki. Powrócił do badań nad czułością słuchu, które prowadził do końca życia. Istotną wartością tych prac jest uzyskanie metody oceny głośności tonu, opartej albo na ocenie równości skoków natężenia, albo na ocenie nierówności natężenia. Dla tych metod została opracowana podbudowa matematyczna, co pozwoliło na ocenę zależności między widmem dźwięku a barwą dźwięku. Jest to podstawa dla projektowania instrumentów muzycznych oraz dla reżyserii dźwięku w filmie i radiofonii.

Prace te, wymagające precyzyjnej techniki doświadczalnej (pracuje się prądami o mocy 10–14 watów, które trzeba otrzymać bez zakłóceń i dokładnie mierzyć), uważane były przez samego profesora za najważniejsze z jego badań naukowych. Z jednej strony pozwalają one mierzyć wielkości uważane za „subiektywne” czy „psychologiczne”, z drugiej zaś dostarczają danych ogromnie ważnych dla życia społecznego, m.in. otwierają możliwość ustalenia zasady projektowania protez słuchowych dostosowanych do indywidualnych, istniejących resztek słuchu u osób z jego upośledzeniem.

Marek Kwiek kontynuował też współpracę z lekarzami. Prowadził badania oporu elektrycznego głowy podczas zabiegu elektronarkozy (1948 r.), które dały początek konstruowaniu aparatów do elektronarkozy. Dużo wysiłku włożył też w odtworzenie pracy zmarłego prof. Mayera o krążeniu krwi. Zredagował ją w języku francuskim. Na marginesie tej pracy powstała własna praca M. Kwieka o hemodynamice krwi, w zasadzie w postaci referatu, ale zawierająca oryginalne pomysły.

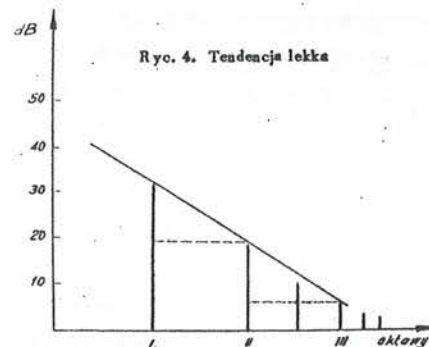
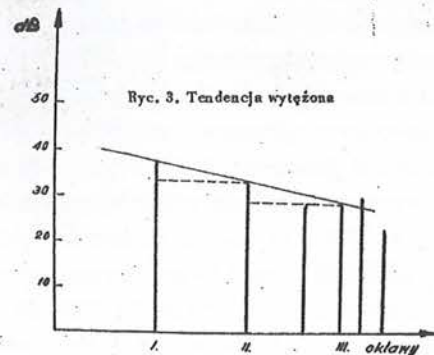
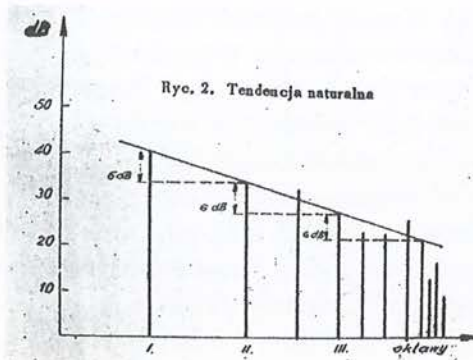
Poza tym prof. Kwiek zainteresował się – częściowo z konieczności, aby rozszerzyć metody badania słuchu – elektroencefalografią. W tym zakresie kierował pewnymi badaniami o charakterze uogólnionej analizy harmonicznej potencjałów czynnościowych mózgu. Uzupełnieniem badań akustyczno-muzycznych są badania widm hałasów i dźwięków instrumentów muzycznych klawesynu (1950–1952) i fortepianu (1953–1954).

Dużą trudnością było uzyskanie aparatury do tych badań. Wiele prac, prowadzonych niejako na uboczu, poświęconych było budowie aparatury pomiarowej: mikrofonów, filtrów akustycznych, urządzeń spektrograficznych i generatorów, m.in. generatora magnetycznego, co zaowocowało badaniami nad samym zjawiskiem magnetystrykcji. Przeprowadzono klasyfikację zjawisk magnetoelektrycznych na gruncie termodynamiki i teorii elastyczności.

Wykłady profesora po wojnie dotyczyły teorii elastyczności (1949). Ich podstawą była dynamika siatki krystalicznej z rozbudowanymi podstawami matematycznymi: rachunek tensorów w przestrzeni bez metryki, geometria Riemanna, teoria deformacji skończonych, termodynamika ciała elastycznego, rozchodzenie się fal w ciele stałym do drugiego stopnia przybliżenia. Wykłady te, niestety, nie zostały opublikowane. Na wersji maszynopisowej wykształciło się jednak wielu specjalistów.

Skrypt z elektryczności i magnetyzmu (1945–1951) nie jest pracą oryginalną. Jego podstawą była literatura zagraniczna. Myśl przewodnia wzięta jest z teorii pola Landaua i Lifszycza. Oryginalne są: wprowadzenie w prostokątny rachunek wektorów i tensorów, teoria odwzorowań dualnych, gęstości i pojemności tensorowych oraz inne podstawy matematyczne.

Pierwsza część skryptu z akustyki (200 stron) obejmuje najnowocześniejszy przegląd rozwoju akustyki, teorie nieliniowe oraz zagadnienia energetyczne. Pomyślany jest oryginalnie na podstawach fizycznych, a nie technicznych. W latach 1930–1955 powstało 18 prac naukowych, w tym cztery pozycje książkowe. W roku 1951/1952 Marek Kwiek został powołany przez ministra szkolnictwa wyższego na zastępcę



Klasyfikacja barwy dźwięku na podstawie charakterystyki widmowej dźwięku (z pracy habilitacyjnej)

organizatora Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii na Uniwersytecie Poznańskim.

Od 1956 r. był członkiem Komisji Organizacyjnej Uniwersyteckich Studiów Zaocznych, zaś od jesieni roku 1962 – organizatorem Studiów Zaocznych Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza.

Od 1955 r. do tragicznej śmierci w 1962 r. profesor skupił wszystkie siły na kształceniu młodej kadry, a także zorganizowaniu od podstaw Uniwersyteckich Studiów Zaocznych. Przeprowadził i zakończył sześć przewodów doktorskich i był w trakcie prowadzenia przeszło 10 dalszych przewodów. Brał też udział w 20 komisjach habilitacyjnych.

Ponadto profesor Marek Kwiek rozwijał współpracę międzynarodową – pozyskał wybitnych uczonych zagranicznych do wygłoszenia wykładów w Katedrze

Akustyki. Wreszcie prowadził działalność polityczną: jako wiceprzewodniczący Wojewódzkiego Komitetu Stronnictwa Demokratycznego w Poznaniu, był też członkiem Rady Naczelnej SD w Warszawie i posłem na Sejm (jako członek Komisji Sejmowej Oświaty i Nauki). W tej działalności zwracał uwagę głównie na sprawy młodej kadry szkół wyższych, rozwój nauk eksperymentalnych, rozwój i zastosowanie maszyn matematycznych, wreszcie rozwój studiów dla pracujących. W tym czasie opublikował dalszych 28 prac naukowych w czasopismach polskich i zagranicznych.

Profesor Kwiek wielkie zasługi położył jako organizator pracy naukowej, zarówno w najbliższym środowisku, jak i w innych ośrodkach. Z jego inicjatywy i dzięki jego osobistym ogromnym wysiłkom w 1956 r. powstała Katedra Akustyki i Teorii Drgań, jedyna w Polsce uniwersytecka specjalistyczna katedra w zakresie akustyki. W 1953 r. M. Kwiek, kierownik ówczesnego Zakładu Akustyki i Teorii Drgań, zorganizował pierwsze Otwarte Seminarium z Akustyki, które od tego czasu odbywa się corocznie w okresie letnim, dając możliwość przeglądu prac prowadzonych w całej Polsce, często z udziałem gości zagranicznych.

Promieniowanie naukowe Katedry Akustyki i Teorii Drgań, której kierownikiem był prof. Kwiek, obejmowało zarówno samo środowisko uniwersyteckie, jak i inne instytuty naukowe, wyższe uczelnie oraz placówki naukowe na terenie kraju. Profesor Kwiek był konsultantem naukowym Zakładu Pracy dla Osób Głuchoniemych w Poznaniu i w Warszawie oraz konsultantem akustycznym Ministerstwa Kultury i Sztuki, a ponadto brał udział, łącznie ze współpracownikami z Katedry, w opracowywaniu projektów

akustycznych gmachu Teatru Wielkiego, Opery i Baletu w Warszawie. Osobiście konsultował prace nad konstrukcją pierwszego fortepianu koncertowego w Fabryce Fortepianów w Kaliszu. Dzięki jego inicjatywie zawiązała się ścisła współpraca z fabryką głośników we Wrześni. Profesor Kwiek czynnie włączył się do akcji zwalczania hałasu, biorąc udział w naukowym opracowaniu badania przyczyn szkodliwego działania hałasu na organizm człowieka. Stąd nawiązana została współpraca z wielu instytucjami przemysłowymi o dużym znaczeniu gospodarczym, m.in. z Wytwórnią Sprzętu Komunikacyjnego na Okęciu w Warszawie.

Profesor Kwiek był niezrównanym i niezastąpionym kierownikiem pracy naukowej i wychowawczej. Opieka, jaką otaczał młodych pracowników nauki, przy wysokich wymaganiach co do rzetelnej pracy, łagodziła atmosferę surowej dyscypliny wewnętrznej i intelektualnej, którą wprowadzał.

Jako człowiek prof. Kwiek był maksymalistą w wymaganiach od siebie i od innych. Serdeczny i bezpośredni w obcowaniu, posiadał dar budzenia entuzjazmu do pracy twórczej, wzajemnego zaufania i największego wysiłku naukowego. Był wielkim przyjacielem ludzi, gotowym w każdej chwili do ofiarnej, realnej pomocy.

Po tragicznej śmierci prof. Kwieka wszystkie sprawy naukowe, dydaktyczne i organizacyjne ówczesnej Katedry Akustyki i Teorii Drgań przejęła prof. Halina Ryffert, kontynuując to dzieło przez szereg dalszych lat.

Na koniec przyjrzyjmy się portretowi Profesora na tle rodziny. W 1936 r. Marek Kwiek poślubił Wiesławę Głowacką, studentkę filozofii (specjalność historia sztuki) na Uniwersytecie Poznańskim. Mieli sześcioro dzieci – trzech synów i trzy córki. Wszystkie dzieci ukończyły studia na kierunkach ścisłych (fizyka lub matematyka na UAM, elektryczność na Politechnice Poznańskiej). Dopiero wśród wnuków ujawniły się zainteresowania humanistyczne (obok fizyki i astronautyki – filozofia, polonistyka, historia, teologia). Jak wspominają dzieci profesora, w życiu rodzinnym był on ciepłym, zatroskanym o codzienne problemy Tatusiem. Zauważał wszystkie osiągnięcia swoich dzieci. Umiał kilkoma słowami pochwalić i zmobilizować do dalszego wysiłku. Nieobce mu były zwykłe dziecięce problemy, które z pełną cierpliwością i wyrozumiałością umiał rozwiązywać. Dzielił się z dziećmi swoimi zainteresowaniami, ukochaniem muzyki i fotografowania z obróbką zdjęć. Uczył pracowitości, odpowiedzialności i szacunku dla każdego człowieka.



Tablica pamiątkowa wykonana wg pomysłu prof. dr hab. Urszuli Jorasz, projekt i wykonanie: Elżbieta Graczyk, zdjęcie: Kazimierz Fryś. Tablica wisi w Instytucie Akustyki (II piętro), Wydziału Fizyki, UAM

Krótką historia Instytutu Akustyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Rufin Makarewicz

Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Początki akustyki na Uniwersytecie Poznańskim przed II wojną światową to prace prof. Stanisława Kalandyka (1885–1940) i dra Marka Kwieka (1913–1962) w zakresie akustyki fizjologicznej. Jednak początki akustyki instytucjonalnej po 1945 r. wiążą się już tylko z prof. Kwiekiem. Jego bystrość umysłu i szeroka wiedza, pozwalająca rozgraniczać rzeczy znane od nieznanych, a także urok osobisty i dobroć były powszechnie znane w środowisku akademickim Poznania. Cenił je bardzo prof. Szczepan Szczeniowski (1898–1978), kierownik Katedry Fizyki Doświadczalnej. To dzięki niemu w 1946 r. powołano Pracownię Akustyczną, która w 1952 r. przekształciła się w Zakład Akustyki i Teorii Drgań. Ranga uzyskanych wyników i związany z tym rozwój kadrowy doprowadziły w roku 1956 do utworzenia Katedry Akustyki i Teorii Drgań. Od tego momentu zaczęła się specjalizacja „akustyka” na kierunku studiów fizyka. W 1985 r. utworzono Instytut Akustyki z Zakładami:

- ❖ Akustyki Molekularnej,
- ❖ Akustyki Środowiska,
- ❖ Elektroakustyki,
- ❖ Psychoakustyki i Akustyki Pomieszczeń.

W roku akademickim 2013/2014 na dwóch kierunkach: reżyseria dźwięku (studia licencjackie I stopnia) oraz akustyka studiowało ok. 200 osób. Kierunek „akustyka” obejmuje studia licencjackie I stopnia –

stacjonarne (Protetyka Słuchu i Ochrona przed Hałasem) i I stopnia – niestacjonarne (Protetyka Słuchu) oraz studia magisterskie II stopnia (Akustyka), stacjonarne i niestacjonarne. Obecnie w Instytucie Akustyki pracuje 8 profesorów, 10 adiunktów oraz 3 wykładowców i 4 instruktorów. Kierunki badań, zainicjowane przez prof. Kwieka, są kontynuowane do dzisiaj. Są to:

- ❖ akustyka molekularna (A. Śliwiński, M. Łabowski, A. Skumiel, T. Hornowski, A. Józefczak),
- ❖ akustyka mowy (E. Ozimek, A. Sęk),
- ❖ akustyka muzyczna (H. Harajda, A. Preis, E. Skrodzka),
- ❖ akustyka pomieszczeń (E. Ozimek, L. Rutkowski),
- ❖ akustyka środowiska – hałas (R. Makarewicz, A. Preis),
- ❖ analiza sygnałów (H. Ryffert, S. Przygórzewski),
- ❖ elektroakustyka – aparaty słuchowe (E. Hojan, E. Skrodzka),
- ❖ psychoakustyka (H. Ryffert, E. Ozimek, U. Jorasz, A. Sęk),
- ❖ teoria drgań (E. Karaśkiewicz),
- ❖ teoria pola akustycznego (E. Karaśkiewicz, R. Makarewicz).

W nawiasach podano nazwiska żyjących i nieżyjących kontynuatorów dzieła prof. Kwieka, którzy uzyskali habilitację.

NOMINACJE PROFESORSKIE

Z rąk prezydenta RP nominacje profesorskie w dziedzinie nauk fizycznych otrzymało 15 uczonych. Byli to: 14 marca 2013 r. – Konrad Banaszek (UW), Bogusław Broda (UŁ), Piotr Czarnecki (UAM), Gerald Handler (Centrum Astronomiczne PAN, Warszawa) i Małgorzata Igalson (PW); 22 kwietnia 2013 r. – Dariusz Chruściński (UMK), Krzysztof Goździewski (UMK), Michał Hanasz (UMK), Zbigniew Jaskólski (UWr), Jacek Kołodziej (UJ), Romuald Lemański (INTiBS PAN Wrocław), Andrzej Majhofer (UW), Antoni Mitus (PWr), Mai Suan Li (IF PAN Warszawa) i Marek Szydłowski (UJ); 17 czerwca 2013 r. – Mirosław Brewczyk (UwB), Marian Szymczak (UMK) i Antoni Wójcik (UAM); 26 czerwca 2013 r. – Mirosław Bylicki (UMK), Andrzej Radosz (PWr) i Andrzej Sandacz (NCBJ Otwock).

Źródło informacji: www.prezydent.pl

Bogusław Broda

Bogusław Broda urodził się 14 maja 1958 r. w Łodzi. Po ukończeniu studiów na Uniwersytecie Łódzkim w 1982 r. rozpoczął studia doktoranckie w Instytucie Badań Jądrowych w Warszawie. W roku 1985 został przyjęty na stanowisko asystenta w Katedrze Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Łódzkiego. Pracę doktorską, której promotorem był śp. prof. dr hab. Ryszard Rączka, obronił w 1987 r., natomiast pracę habilitacyjną – w 1995 r. w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego.

Jego publikacje naukowe, których jest około 60, obejmują klasyczną i kwantową grawitację, nieperturbacyjną kwantową teorię pola, topologiczną teorię pola, kosmologię, mechanikę kwantową i inne obszary fizyki teoretycznej. Ponadto opublikował blisko 100 recenzji w *Mathematical Reviews*. Kierował czterema projektami badawczymi KBN oraz jednym indywidualnym grantem Komisji Europejskiej. Naukowe staże zagraniczne odbył w NIKHEF-H (Amsterdam), w A. Sommerfeld Institute for Mathematical Physics (Clausthal-Zellerfeld) oraz w I. Newton Institute for Mathematical Sciences (Cambridge). Wypromował pięciu doktorów.

Przez sześć kadencji był członkiem Sekcji Fizyki KBN, a następnie Zespołu Specjalistycznego Ministerstwa. Niezależnie przygotował ponad 50 recenzji dotyczących grantów własnych oraz około 50 opinii dotyczących finansowania infrastruktury badawczej. Jest członkiem trzech zagranicznych i dwóch polskich towarzystw naukowych. Przez cztery kadencje pełnił funkcję przewodniczącego Oddziału Łódzkiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego. W 1988 r. za pracę



z grawitacji otrzymał wyróżnienie Honorable Mention, a w 1994 r. nagrodę w dziedzinie nauk ścisłych Prezydium Oddziału PAN oraz Konferencji Rektorów w Łodzi. W roku 1997 został wyróżniony nagrodą indywidualną Ministra Edukacji Narodowej.

W 1999 r. otrzymał stanowisko profesora nadzwyczajnego w Katedrze Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Łódzkiego, gdzie od 2005 r. pełni funkcję kierownika Zakładu Podstawowych Problemów Fizyki.

Jest żonaty, ma dwie córki.

Romuald Lemański

Romuald Lemański (do 1995 r. Łyżwa) urodził się w 1953 r. w Bielawie. W 1973 r. ukończył Technikum Radiotechniczne w Dzierżonowie i rozpoczął studia na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. W 1978 r. obronił pracę magisterską *Fale spinowe na granicy dwóch różnych ferromagnetyków*, przygotowaną pod kierunkiem dra Jacka Kowalskiego, i został przyjęty na studia doktoranckie w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. W czasie studiów odbył 6-miesięczny staż naukowy w Instytucie Fizyki Jądrowej w Nowosybirsku pod kierunkiem prof. Aleksandra Z. Pataszyńskiego. W tym okresie uzyskał znaczną część wyników wchodzących w skład jego rozprawy doktorskiej, zatytułowanej *Teoria niejednorodnego uporządkowania krystalicznego*, którą obronił w 1983 r. (promotorem był prof. Jan Klamut). Stopień naukowy doktora habilitowanego uzyskał w 1998 r. na podstawie dysertacji *Diagramy fazowe sieciowych układów fermionowych w stanie podstawowym*, natomiast tytuł profesora nauk fizycznych otrzymał w roku 2013.

W latach 1985–1986 przebywał na 13-miesięcznym stażu podoktorskim na Uniwersytecie w Lozannie (Szwajcaria), pracując w grupie prof. Paula Erdösa nad teoretycznym opisem własności magnetycznych związków aktywnowców, czego efektem było m.in. wyjaśnienie anomalnego zachowania się trójbromku uranu $U\text{Br}_3$. Wynikiem dalszej współpracy z prof. Erdösem i jego współpracownikami było m.in. powstanie artykułu przeglądowego: P. Santini, R. Lemański, P. Erdős, *Magnetism of actinide compounds, Advances in Physics* 48, 537 (1999).

Swoją wiedzę i doświadczenie pogłębiał też w czasie, trwających od kilku tygodni do kilku miesięcy, pobytów w innych ośrodkach zagranicznych. Były to m.in. Rutherford Appleton Laboratory w Oxfordshire, Anglia (prof. Stephen Lovesy i dr Greg Watson), Georgetown University w Waszyngtonie, USA (prof. Jim Freericks), Max Planck Institute for Complex Systems w Dreźnie, Niemcy (prof. Peter Fulde) oraz Uniwersytet w Bremie, Niemcy (prof. Gerd Czycholl).

Jego działalność naukowa koncentruje się głównie na badaniu układów skorelowanych elektronów, a w szczególności na badaniu różnych wariantów modelu Falicova–Kimballa w zastosowaniu do opisu fali gęstości ładunku i namagnesowania, separacji fazowej, przemiany metal–izolator i mieszanej wartościowości. Ostatnio doszło jeszcze do tego badanie własności pierścieni molekularnych oraz układów chłodnych atomów na sieciach optycznych.



Był głównym wykonawcą jednego i kierownikiem trzech grantów krajowych (w tym jednego promotorskiego) oraz wykonawcą pięciu grantów zagranicznych. Aktualnie jest członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma *Condensed Matter Physics*.

Jest mężem Romy (od 1977 r.) oraz ojcem Michała (1979), Karola (1982), Tobiasza (1985), Edyty (1988) i Paulinki (1999).

Antoni C. Mituś

Antoni C. Mituś urodził się w 1952 r., studiował fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim, studia doktoranckie odbył w ZSRR, zaś stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych otrzymał w 1999 r. Przez kilka lat pracował naukowo w ZSRR (jest „wnukiem naukowym” L. D. Landaua), kolejnych kilka lat spędził w Niemczech. Był stypendystą Fundacji Aleksandra von Humboldta.

Kieruje pracą kilkusobowej Grupy Modelowania Zjawisk Strukturalnych w Cieczach Złożonych w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej. Zajmuje się teoretycznymi badaniami lokalnej struktury fazy skondensowanej oraz modelowaniem strukturalnych i nieliniowych optycznych efektów fizycznych w układach gość-gospodarz w matrycach ciekłokrystalicznych i polimerowych. Jest autorem ok. 100 publikacji naukowych (w tym w *Physics Reports*, *J. Phys.*



Chem. Lett., *J. Phys. Chem.*, *Phys. Rev. B i E*, *JOSA B*, *Optics Express*, *Optics Letters*), cytowanych ok. 300 razy. Brał udział w kilkudziesięciu konferencjach o zasięgu międzynarodowym, na których wygłosił ponad 40 wykładów zaproszonych. Współpracuje z grupami badawczymi z USA (Evanston, University Park, Pullman, Wright-Patterson US Air Force Base) i Francji (Angers, Cachan); spędził też pół roku jako zaproszony profesor we Francji. Wielokrotnie występował na seminariach we Francji, Niemczech i w USA.

Był członkiem kilkunastu komitetów naukowych konferencji międzynarodowych, a także przewodniczącym oraz wiceprzewodniczącym dwóch konferencji polsko-francuskich. Kierował kilkoma grantami KBN. Wypromował dwóch doktorów, kolejny doktorant ma otwarty przewód doktorski.

Prowadzi wykłady dla studentów i doktorantów z fizyki ogólnej i teoretycznej oraz z metod modelowania komputerowego. Bierze udział w programie *Teaching Staff Mobility*, wielokrotnie wykladał w szkołach programu MONABIPHOT we Francji. Jest współautorem podręcznika akademickiego z pakietu algebry symbolicznej *Maple*.

Pełnił funkcję przewodniczącego Wrocławskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz wiceprzewodniczącego Wrocławskiego Oddziału Societas Humboldtiana Polonorum. Był zastępcą dyrektora Instytutu Fizyki PWr. Zorganizował i prowadzi Se-

minarium Fizyki Komputerowej w Instytucie Fizyki PWr. Organizuje wykłady popularyzujące fizykę dla uczniów szkół średnich, był długoletnim wykładowcą Studium Talent w Jeleniej Górze.

Żonaty, ma dwójkę dzieci – syn Antoni (26 lat) jest informatykiem, córka Sonia (8 lat) – uczennicą. Czynnie uprawia, wraz z żoną Olgą, taniec towarzyski. Gra w tenisa, biega półmaratony, rozpoczął przygodę ze wspinaczką skałkową, posiada 5 kyu karate Shoto-kan i stopień młodszego ratownika WOPR, jest gitarowym rekordzistą Guinnessa, uwielbia piesze wędrówki po bezdrożach parków narodowych USA.

Anna Okopińska

Anna Okopińska ukończyła studia na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Warszawskiego pisząc, w 1971 r., pracę magisterską z teorii cząstek elementarnych pod kierunkiem prof. Józefa Werlego na temat *Interpretacja własności macierzy gęstości dla pewnych powierzchni im przyporządkowanych*. Następnie podjęła pracę w Instytucie Badań Jądrowych, gdzie zajmowała się teoretyczną analizą rozpraszania protonów na atomach wodoru i helu.

W 1976 r. rozpoczęła studia doktoranckie na Wydziale Fizyki UW, podczas których zajmowała się badaniem cięć Reggego w modelu dualnej unitaryzacji topologicznej. W roku 1981 uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w Instytucie Badań Jądrowych na podstawie pracy *Model rozpraszania mezonów na bariionach z wymianą ładunku* wykonanej pod kierunkiem dr hab. Michała Świeckiego.

W 1982 r. została zatrudniona w Filii Uniwersytetu Warszawskiego w Białymstoku, gdzie rozpoczęła samodzielne badania naukowe w dziedzinie teorii pól kwantowych. Opracowana przez Annę Okopińską nieperturbacyjna metoda rozwinięcia optymalizowanego dla działania efektywnego była przedmiotem Jej rozprawy habilitacyjnej. Stopień naukowy doktora habilitowanego otrzymała w 1993 r. na Wydziale Fizyki UW. W roku 1998 została zatrudniona na etacie profesora nadzwyczajnego w Instytucie Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Kielcach (obecny Uniwersytet Jana Kochanowskiego). W uczelni tej kontynuuje badania naukowe. Ich tematyka dotyczy zastosowanie nieperturbacyjnych metod do opisu zjawisk kwantowych. W badaniach tych można wyróżnić dwa główne nurty:

1. *Nieperturbacyjne rozwinięcia w teorii pól kwantowych*. Anna Okopińska opracowała dwie metody rozwinięcia działania efektywnego, które umożliwiają systematyczne otrzymywanie konsystentnych przybliżeń wielkości fizycznych w układach kwantowych w taki



sposób, że relacje wynikające z symetrii teorii są zachowane. Jest to szczególnie ważne przy renormalizacji teorii relatywistycznych. Jedną metodą jest rozwinięcie optymalizowane polegające na wyborze niezaburzonego działania dopasowanym do rzędu rachunku. Drugą metodą jest rozwinięcie w potęgach stałej Plancka działania efektywnego, które uwzględnia operatory złożone. W obu metodach w najniższym rzędzie uzyskuje się samozgodne przybliżenie, którego wyniki są podobne do otrzymanych w rozwinięciu $1/N$, a różnią się zasadniczo od wyników perturbacyjnego rozwinięcia pętlowego. Przybliżenie to daje poprawny opis chiralnego przejścia fazowego w efektywnych teoriach silnych oddziaływań, a w nierelatywistycznej teorii pól kwantowych pozwala na analizę kondensacji Bosego–Einsteina w gazie oddziałujących atomów. Stosując rozwinięcie optymalizowane w termodynamice statystycznej uzyskała schemat poprawek do przybliżenia Feynmana-Kleinerta dla energii swobodnej i dla macierzy gęstości. Metoda rozwinięcia działania efektywnego dla operatorów złożonych w naturalny sposób wyznacza funkcjonal gęstości, co zostało wykorzystane przy konstrukcji schematu przybliżeń funkcjonu gęstości dla układów bozonowych.

2. *Korelacje w układach kilku cząstek w pułapkach kwantowych.* Grupa badawcza Anny Okopińskiej zajmuje się układami kilku oddziałujących cząstek uwięzionych w potencjałach sił zewnętrznych. Układy ta-

kie stanowią modele nanostruktur o niewielkiej ilości cząstek, takich jak kropki kwantowe, pułapki jonowe, czy też kondensaty Bosego–Einsteina w sieciach optycznych. Seria prac z Przemysławem Kościakiem była podstawą jego rozprawy doktorskiej *Badanie własności stanów wielocząstkowych w pułapkach kwantowych: bozony i fermiony*. Obecnie prowadzone są badania entropowych charakterystyk splątania kwantowego w różnych potencjałach pułapkujących. Znajomość takich charakterystyk jest ważna ze względu na możliwości zastosowań w informatyce kwantowej. Rozpoczęto też analogiczne badania stanów rezonansowych układów wielocząstkowych w pułapkach otwartych.

Anna Okopińska jest autorem lub współautorem 35 artykułów w czasopismach z listy filadelfijskiej i ponad 30 wystąpień i prezentacji na konferencjach międzynarodowych. Prowadziła wykłady w Centrum Modelowania Matematycznego ICM UW i na Uniwersytecie Yonsei w Seulu. Za działalność naukową otrzymała nagrody Rektora Uniwersytetu Warszawskiego, a także nagrody Rektora Uniwersytetu Jana Kochanowskiego.

Wielokrotnie recenzowała prace dla czasopism: *Physical Review Letters*, *Physical Review A*, *B*, *D* i *E*, *Journal of Physics A*, *Physica Scripta*, a także publikacje pokonferencyjne.

Zamężna, mama córki i syna, którzy studiuja obecnie na Uniwersytecie Warszawskim. Od wielu lat Jej pasją są góry wysokie. Brała udział w wyprawach w Pamir, Himalaje i Karakorum, podczas których zdobyła kilka wysokich szczytów. Najwyższy szczyt, na którym udało się Jej stanąć to Gasherbrum II (8034 m.).

Andrzej Sandacz

Andrzej Sandacz, który od 2009 roku jest kierownikiem grupy fizyków z Narodowego Centrum Badań Jądrowych uczestniczących w eksperymencie COMPASS i koordynatorem prac w ramach europejskich programów ramowych „HadronPhysics2” i „HadronPhysics3”, otrzymał z rąk Prezydenta RP tytuł naukowy Profesora 26 czerwca 2013 r.

Prof. dr hab. Andrzej Sandacz jest autorem około 180 publikacji, w tym 130 w czasopismach z listy filadelfijskiej. Spośród nich, trzydzieści prac jest cytowanych więcej niż 100 razy, a dziesięć ponad 250 razy. Tematyka naukowa jaką zajmował się prof. Andrzej Sandacz obejmuje trzy dziedziny:

- Badanie kwarkowo-gluonowej struktury nukleonów i jąder za pomocą głęboko nieelastycznego rozpraszania leptonów na nukleonach i jądrach w CERN-ie (eksperymenty EMC, NMC, SMC,



COMPASS), w Laboratorium im. Fermiego (eksperyment E594) oraz przy projektowanym akceleratorze wiązek przeciwbieżnych EIC w Stanach Zjednoczonych.

✦ Badanie procesów ekskluzywnej produkcji fotonów i mezonów w „twardych” zderzeniach leptonów z nukleonami i jądrami (eksperymenty z wiązkami mionowymi w CERN-ie, oraz projekt EIC). W tej dziedzinie prof. Sandacz odegrał istotną rolę w promowaniu i realizacji tych badań w eksperymentach NMC i COMPASS, oraz w przygotowaniu projektu „COMPASS-II”, a także w pracach nad przygotowaniem programu fizycznego dla akceleratora EIC. Teo-

retyczny opis tych procesów ekskluzywnych za pomocą formalizmu uogólnionych rozkładów partonów, tzw. GPDs, stwarza unikalne możliwości poznania struktury nukleonu.

✦ Badanie procesów dyfrakcyjnych w „miękkich” oddziaływaniach hadronów, takich jak rozpraszanie elastyczne i dysocjacja dyfrakcyjna protonów w wysoko energetycznych zderzeniach protonów z protonami i lekkimi jądrami, w eksperymentach w IFWE (Protvino), w Fermilab (eksperymenty E186, E317, E289, E381) i przy akceleratorze RHIC (eksperymenty PP2PP i STAR).

Andrzej Sandacz w latach 1961–1966 studiował fizykę na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę naukową w grupie profesora Przemysława Iwo Zielińskiego, początkowo w Instytucie Fizyki Politechniki Warszawskiej, a od 1973 r. w Instytucie Badań Jądrowych. W 1976 roku obronił pracę doktorską, której tematem było badanie oddziaływań wysoko energetycznych deuteronów z protonami w eksperymencie wykonanym w Dubnej. W 1996 roku obronił pracę habilitacyjną, w której przedstawił badanie produkcji mezonów wektorowych w rozpraszaniu głęboko nieelastycznym, z wykorzystaniem danych eksperymentów EMC i NMC w CERN-ie. Rok później został powołany na stanowisko docenta w Instytucie Problemów Jądrowych (dzisiejsze Narodowe Centrum Badań Jądrowych).

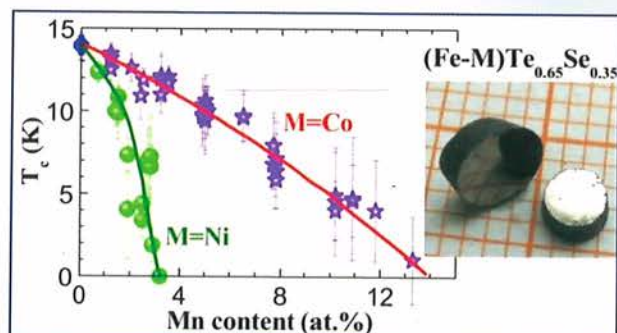
Prywatnie prof. Andrzej Sandacz interesuje się m.in. muzyką klasyczną. Fascynuje go zwłaszcza muzyka romantyzmu, ale w swoich pasjach sięga dalej, do muzyki epoki klasycznej i baroku. Wykształcenie muzyczne (fortepian na poziomie szkoły średniej) i stałe podtrzymywanie biegłości technicznej pozwalają mu na czynne muzykowanie dla kameralnego grona przyjaciół i rodziny.

Środowiskowe Laboratorium Badań Fizycznych

w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk

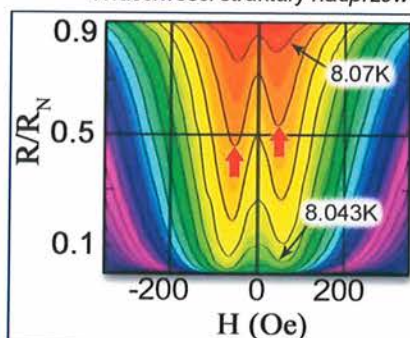


Środowiskowe Laboratorium Badań Fizycznych



Wpływ domieszek na temperaturę przejścia do stanu nadprzewodzącego w nadprzewodniku żelazowym FeTeSe

Właściwości struktury nadprzewodnik/ferromagnetyk



Minima oporu w niezerowym polu magnetycznym świadczą o niezwyklej wpływie domen magnetycznych na nadprzewodnictwo

W Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk, w ramach projektu NanoFun POIG.02.02.00-00-025/09, utworzono **Środowiskowe Laboratorium Badań Fizycznych**, którego pracownicy poszukują nieznanych właściwości fizycznych heterostruktur tlenkowych oraz zgłębiają tajemnice zjawisk wirowych w nadprzewodnikach.

Powyższe tematyki badawcze realizowane są w oparciu o uniwersalną platformę pomiarową PPMS produkcji firmy Quantum Design umożliwiającą pomiary następujących wielkości fizycznych:

- transportu elektrycznego,
- transport ciepłego,
- pojemności cieplnej,
- właściwości magnetycznych.

Podstawowe właściwości zakupionej platformy pomiarowej to:
pole magnetyczne w zakresie 0 – 9 Tesli, zmiana temperatury w zakresie 1.9 K do 400 K, mikroprocesorowe sterowanie procesem pomiarowym (automatyczna rejestracja i analiza badanych wielkości fizycznych) oraz możliwość rozbudowania układu o dołączone instrumenty zewnętrzne.

www.nanofun.edu.pl/laboratoria.html

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

Oddział Poznański

organizuje

cykl odczytów popularnych

pt.

**RUCH –
CIEPŁO –
ŚWIATŁO**

ilustrowanych doświadczeniami

Odczyty odbywać się będą w poniedziałki o godz. 19
w sali im. Śniadeckich, Collegium Maius, ul. Fredry 10, II ptr.

Poniedziałek 7 marca 1955	Dr Marek Kwiek profesor Uniwersytetu Poznańskiego	O ruchu drgającym
Poniedziałek 14 marca 1955	Dr Arkadiusz Piekara profesor Uniwersytetu Poznańskiego	Osobliwości ruchu obrotowego
Poniedziałek 21 marca 1955	Mgr Tadeusz Hilczer st. asystent Uniwersytetu Poznańskiego	Ciepło – ruch cząsteczkowy
Poniedziałek 28 marca 1955	Mgr Teodor Krajewski st. asystent Uniwersytetu Poznańskiego	Niskie temperatury
Poniedziałek 4 kwietnia 1955	Mgr Franciszek Kaczmarek st. asystent Uniwersytetu Poznańskiego	O promieniowaniu cieplnym – widzialnym i niewidzialnym

Bilety w cenie 2,– zł i ulgowe w cenie 1,– zł (dla młodzieży szkolnej) nabywać można w sekretariacie Katedry Fizyki Doświadczalnej ul. Grunwaldzka 6 – II ptr. (pok. 208) w godz. od 9–14 oraz bezpośrednio przed odczytem