



SŁUCHOWA IDENTYFIKACJA CECH PRZEDMIOTU NA PODSTAWIE CECH FALI DŹWIĘKOWEJ

**Auditory identification of the sound source properties based
on the sound wave attributes**

Anna Preis

Instytut Akustyki Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Umultowska 85, 61-114 Poznań
apraton@amu.edu.pl

STRESZCZENIE

W klasycznych badaniach psychoakustycznych zakłada się, że tym co słyszymy w otaczającym nas środowisku są dźwięki. Zgodnie z tym poglądem, słyszenie rozumiane jest jako rozpoznawanie cech wrażenia dźwiękowego wywołanego falą akustyczną docierającą do naszego organu słuchu. Ten pogląd wymaga korekty. Gdy do naszych uszu dociera dźwięk środowiskowy, to jest on przede wszystkim ważnym źródłem informacji o otaczającym nas świecie. Jest to informacja o obiektach, które będąc źródłami dźwięku mogą wpłynąć na działanie osoby, do której ta informacja dociera. Wiadomo powszechnie, że przetwarzanie informacji wzrokowej nie kończy się na identyfikacji charakterystyk fali świetlnej. System wzrokowy pracuje tak długo, aż w oparciu o informację zakodowaną w fali świetlnej ustali cechy widzianego obiektu. Podobnie, celem słuchowego systemu jest identyfikacja cech obiektów, będących źródłami dźwięków, które słyszymy a nie informacja o cechach zdarzenia dźwiękowego. Nasz system słuchowy w wyniku procesu naturalnej selekcji jest dobrze przygotowany i wytrenowany do identyfikowania takich charakterystyk źródeł dźwięku jak odległość od słuchacza, lokalizacja źródła dźwięku, jego prędkość a nawet ciężar i wielkość. Wszystkie te cechy są odkodowywane z widmowych i czasowych charakterystyk dźwięku. Psychoakustyka może pomóc w ustaleniu jak system słuchowy dopasowuje cechy obiektów do specyficznych charakterystyk fal dźwiękowych.

1. BADANIE SŁYSZENIA W LABORATORIUM PSYCHOAKUSTYCZNYM

W klasycznych badaniach psychoakustycznych bada się reakcje ludzi na elementarne sygnały akustyczne: tony, szумы, sygnały modulowane. Wszystkie te sygnały są starannie dobrane, tak aby możliwie precyzyjnie dało się ustalić zależność między składnikami fizycznej charakterystyki takiego sygnału a odpowiednimi wrażeniami słuchowymi. Wychodzi się tu z założenia, że poznanie związków między cechami prostego bodźca akustycznego a cechami odpowiadającego mu wrażenia słuchowego da się stosunkowo

łatwo rozszerzyć na sytuacje bardziej złożone. Jest to metodologicznie poprawna procedura badawcza nakazująca badać najpierw przypadki proste, a następnie uwzględniać także przypadki bardziej skomplikowane. Szkopuł w tym, że to, co proste z fizycznego punktu widzenia nie jest bynajmniej proste dla systemu słuchowego. Dla wyposażonego w system słuchowy organizmu biologicznego proste są te sygnały, na których odbiór jest, za sprawą doboru naturalnego, dobrze przygotowany, to znaczy, potrafi je szybko przetworzyć i odpowiednio na nie zareagować. Są to dźwięki środowiskowe, niosące informację o tym, co ważne dla przetrwania tego organizmu. Innymi słowy, nasz system słuchowy nie jest zaprojektowany dla sprawnego radzenia sobie z tonami czy innymi, spreparowanymi w laboratorium dźwiękami lecz do przetwarzania sygnałów, które niosą informację o czynnikach zagrażających organizmowi lub wspomagających jego wysiłki o przetrwanie. Z tego też powodu typowe sygnały wykorzystywane w laboratorium psychoakustycznym są dla słuchacza sygnałami sztucznymi, gdyż praktycznie nie występują one w naturalnym środowisku człowieka.

Nie znaczy to bynajmniej, że badania psychoakustyczne pozbawione są wartości. Ich wyniki dostarczają niezbędnej informacji o nieświadomych reakcjach systemu słuchowego na elementarne sygnały akustyczne. Od rozpoznania tych prawidłowości do zrozumienia natury słyszenia jest jednak daleka droga i nie wiedzie ona przez ekstrapolację wyników uzyskanych tradycyjnymi metodami w laboratorium na słyszenie dźwięków w środowisku.

2. BADANIE SŁYSZENIA DŹWIĘKU ŚRODOWISKOWEGO. PODEJŚCIA: KLASYCZNE, EKOLOGICZNE I KOGNITYWISTYCZNE

Według autorów książki (Rocchesso, Fontana, 2003) w roku 1979 pojawiły się pierwsze prace dotyczące percepcji dźwięku środowiskowego (Vanderveer, Lederman.). Jedną z najczęściej cytowanych prac jest artykuł Gavera (1993). Rozróżnia on tzw. słyszenie muzyczne (musical listening) od słyszenia potocznego (everyday listening). Słyszenie potoczne, to słyszenie zdarzeń akustycznych. Artykuł Gavera oraz późniejsze prace innych autorów zainspirowane zostały ideami psychologii ekologicznej Gibsona (1966). To Gibson zaproponował koncepcję postulującą, aby potraktować percepcję jako proces zbierania informacji o otoczeniu, a w badaniach skupić się na procesie percepcji w środowisku, a nie ograniczać się do analiz nadmiernie uproszczonych i zdeformowanych przez sztuczne warunki laboratoryjne prostych sytuacji percepcyjnych. Gibson poprzestał jednak na badaniu percepcji wzrokowej, a praca Gavera jest jedną z pierwszych i najczęściej cytowaną próbą z akustyki ekologicznej. W ostatnich latach nastąpił rozkwit badań z tej dziedziny i do psychologów (Carello et. al., 2004) dołączyli informatycy oraz akustycy (Houben, 2002, Rocchesso, Fontana, 2003). Pojawiła się nawet propozycja przeorientowania badań psychoakustycznych i stworzenia psychoakustyki ekologicznej (Neuhoff, 2004). Zagadnienia, którymi zajmują się poszczególni badacze dotyczą na przykład ustalenia jakie parametry dźwięku, (struktura widmowa czy czasowa), są odpowiedzialne za odróżnienie między zdarzeniem, kiedy spadająca butelka się tłucze a zdarzeniem, kiedy odbija się od podłoża (Warren, Verbrugge, 1984). Podobny przypadek dotyczy odróżniania zdarzeń polegających na toczeniu się z różną prędkością kulek o różnych wielkościach. (Houben, 2002). Gaver (1988) badał zdolność do słuchowego rozróżniania rodzaju materiału i długości, odpowiednio drewnianych i metalowych prętów. Natomiast Li et al. (1991) stwierdził, że na podstawie słuchowej percepcji kroków możliwe jest ustalenie płci osoby poruszającej się. Percepcją drewnianych prętów uderzających o twardą powierzchnię zajmowali się Carello et al. (1998). Jaka jest zdolność do rozpoznawania w oparciu o dźwięk

czy naczynie jest napełniane czy opróżniane analizowali Cabe, Pittenger (2000). Przegląd zawierający zestawienie badań dźwięków środowiskowych, uwzględniający tzw. ekologiczny charakter słyszenia zawarty jest w książce zredagowanej przez Rocchesso, Fontana (2003).

Na elementarnym przykładzie przedstawię zasadniczą różnicę pomiędzy podejściem klasycznej psychoakustyki a podejściem uwzględniającym ekologiczny charakter słyszenia. W dalszej części natomiast omówię podejście kognitywistyczne, które obok aspektu ekologicznego uwzględnia także aspekt obliczeniowy, a więc to, że słyszenie, podobnie jak pozostałe modalności percepcyjne, jest procesem przetwarzania informacji o obiektach znajdujących się w otoczeniu. Uwzględnienie tego drugiego aspektu zainspirowane jest modelem widzenia zaproponowanym przez Marr'a (1982).

Wyobraźmy sobie osobę stojącą na chodniku i słyszącą dźwięk pochodzący od nadjeżdżającego samochodu. **Podejście klasyczne** nakazywałoby przyjąć, że osoba taka rozpoznaje świadomie zmiany w głośności i wysokości słyszanego dźwięku i w oparciu o nie wnioskuje o tym, że nadjeżdża samochód. Rozpoznanie, że nadjeżdża samochód jest zatem złożeniem dwóch procesów: percepcji słuchowej, polegającej na słyszeniu dźwięków oraz pozasłuchowego procesu wnioskowania o nadjeżdżającym samochodzie. Jasne, że psychoakustyka zajmuje się badaniem tylko tego pierwszego procesu. Ten drugi, to proces wnioskowania, nie mający wiele wspólnego ze słyszeniem.

Podejście ekologiczne ujmuje tę sytuację odmiennie. Przyjmuje się w nim, że osoba stojąca na chodniku oddaje się słyszeniu potocznemu, a więc nastawiona jest na rozpoznawanie zdarzeń akustycznych pochodzących od źródeł dźwięków znajdujących się w otoczeniu. W tym przypadku zdarzeniem tym jest zbliżanie się źródła dźwięku. Informacja o tym, a także o innych zdarzeniach akustycznych pochodzących od źródła, takich jak toczenie się, rytmiczna praca silnika itp. zawarta jest w strukturze akustycznej (Li et al., 1991), utożsamianej z układem cech złożonego sygnału akustycznego. Słyszenie polega w tym przypadku na ustaleniu korelacji między strukturą akustyczną, czyli cechami sygnału a zdarzeniem akustycznym, czyli toczeniem się źródła dźwięku w kierunku słuchacza. (Houben 2002).

Podejście kognitywistyczne respektuje ustalenia akustyki ekologicznej jednak główny nacisk kładzie na to, że słyszenie - podobnie jak widzenie w ujęciu Marr'a (1982) - jest wielopoziomowym procesem przetwarzania informacji o cechach i zachowaniu się obiektów występujących w otoczeniu słuchacza. W akustyce ekologicznej przyjmuje się, że cała informacja o obiektach z otoczenia zawarta jest bezpośrednio w strukturze akustycznej. W podejściu kognitywistycznym natomiast twierdzi się, że dopiero wielopoziomowe przetwarzanie informacji zawartej w sygnale akustycznym pozwala na ustalenie cech przedmiotów z otoczenia. (Klawiter 1999, 2004, Preis, 2001, 2002). Kognitywistyczna analiza słyszenia nadjeżdżającego samochodu sprowadza się zatem do przyjęcia, że osoba stojąca na chodniku **słyszy** nadjeżdżający samochód, a informacja o tym zawarta jest w sygnale dźwiękowym. To z pozoru banalne ustalenie wymaga jednak, aby z sygnału akustycznego najpierw wydobyta została informacja o schematycznej strukturze strumienia słuchowego (słyszenie akustyczne). Ta informacja służy następnie do ustalenia położenia i odległości źródła dźwięku (słyszenie przestrzeni). A te dane, wraz z dodatkowymi informacjami wydobytymi ze strumienia słuchowego wykorzystywane są do rozpoznania cech i sposobu zachowaniu się przedmiotu. a więc czy i w jakim kierunku się porusza, jaki to jest rodzaj ruchu - jednostajny, przyspieszony - a także czy jest to kroczenie, toczenie się czy suwanie. Dane te pozwalają też ustalić, czy przedmiot jest duży, ciężki, a niekiedy także z jakiego zrobiony jest materiału czy jest wydrążony, czy wypełniony, czy jest sztywny czy

elastyczny itp. (słyszenie przedmiotu). Słuchowe rozpoznanie przedmiotu jest więc efektem trójpoziomowego procesu przetwarzania informacji wydobytej pierwotnie z dźwięku środowiskowego. Mamy tu do czynienia z procesem analogicznym do przetwarzania informacji wzrokowej. Zestawmy zatem te dwa podejścia:

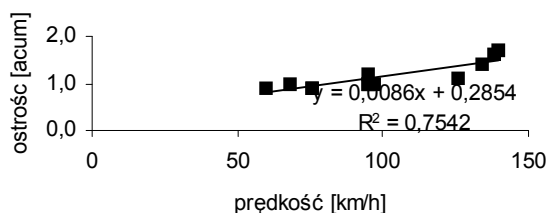
Poziomy przetwarzania informacji wzrokowej według Marr'a	Poziomy przetwarzania informacji słuchowej
Pierwotny szkic	Schematyczna struktura strumienia słuchowego
Dwupółwymiarowy szkic	Położenie i odległość źródła dźwięku
Trójwymiarowy model kształtu przedmiotu	Ruchowa charakterystyka przedmiotu

Propozycja kognitywistycznego ujęcia słyszenia ma na razie charakter szkicowy i jest dopiero rozwijana. Do tej pory w jej ramach zrealizowano kilka eksperymentów, które potraktowano jako wstępne testy hipotezy głoszącej, że słyszenie to złożony, wielopoziomowy proces zdobywania informacji o cechach i zachowaniu obiektów w otoczeniu. Kognitywistyczne badanie słyszenia polega więc na prezentowaniu słuchaczom dźwięków środowiskowych, takich np. jak dźwięk nadjeżdżającego samochodu i pytaniu ich nie o cechy dźwięków, jakie słyszą, ale o cechy i zachowanie obiektów, które te dźwięki generują. Formuluje się np. następujące pytania: w jakiej odległości znajdował się przejeżdżający przedmiot, jak szybko się poruszał, czy poruszał się jednostajnie czy przyspieszał, w końcu czy poruszający się obiekt był duży i ciężki czy też raczej mały i lekki. W ten sposób możemy sprawdzić, czy słuchacze rzeczywiście potrafią trafnie rozpoznać charakterystyki źródła dźwięku, takie jak: prędkość, przyspieszenie, ciężar czy wielkość. Nie wystarczy więc poprzestać na badaniu progów głośności czy wysokości dźwięku, przedmiotem badań powinny być także progi parametrów charakteryzujących źródło dźwięku takie jak: próg prędkości, odległości, itp. Poniżej omówię wybrane eksperymenty, w których podjęto próbę wyznaczenia takich progów dla prędkości i odległości poruszającego się obiektu.

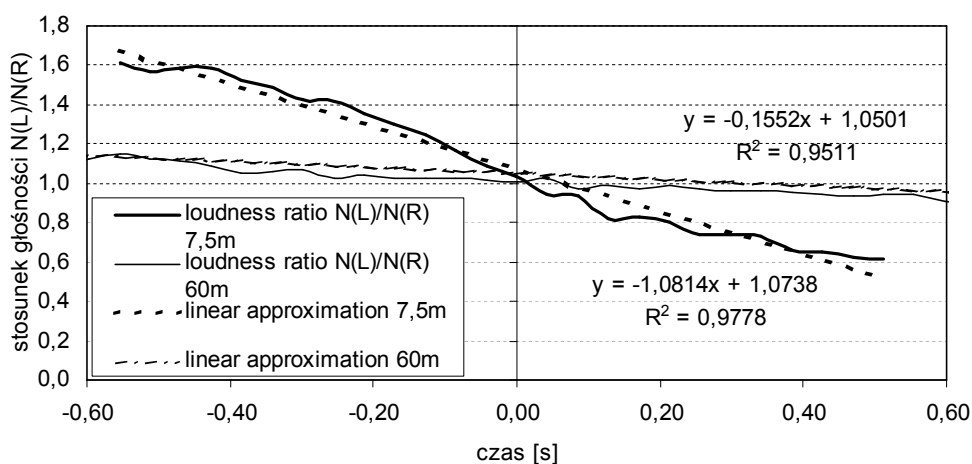
3. OSTROŚĆ I OBWIEDNIA CZASOWA JAKO WSKAŹNIKI PRĘDKOŚCI I ODLEGŁOŚCI PORUSZAJĄCEGO SIĘ OBIEKTU

Krytykę tradycyjnego podejścia do badań psychoakustycznych przedstawiono w pracy (Preis (2001). Pokazano, że prędkość poruszających się przedmiotów (były to pociągi) można zidentyfikować na podstawie ostrości generowanego przez nie dźwięku. Skoro okazało się, że ostrość koreluje z prędkością przedmiotu, można więc uznać ją za akustyczny wskaźnik prędkości. Pozwala to jednak tylko na wstępne rozpoznanie, że przedmiot się porusza. Do pełniejszego rozpoznania potrzebna jest jeszcze wiedza o odległości przedmiotu od słuchającego, jego lokalizacji oraz sposobie przemieszczania się. Ustalenie, jakie elementy charakterystyki widmowej i czasowej są odpowiedzialne za kompletne słyszenie poruszającego się przedmiotu, to zadanie dla dalszych badań. Poniżej przedstawione są dane na temat związku między ostrością a prędkością oraz między kształtem obwiedni czasowej a odległością poruszającego się przedmiotu.

W pracy Preis (2002) pokazano, że informację o odległości poruszającego się przedmiotu można odczytać z ilościowych miar opisujących kształt przebiegu czasowego dźwięku generowanego przez poruszający się przedmiot.



Rysunek 1. Zależność ostrości dźwięku generowanego przez pociągi poruszające się z różną prędkością.



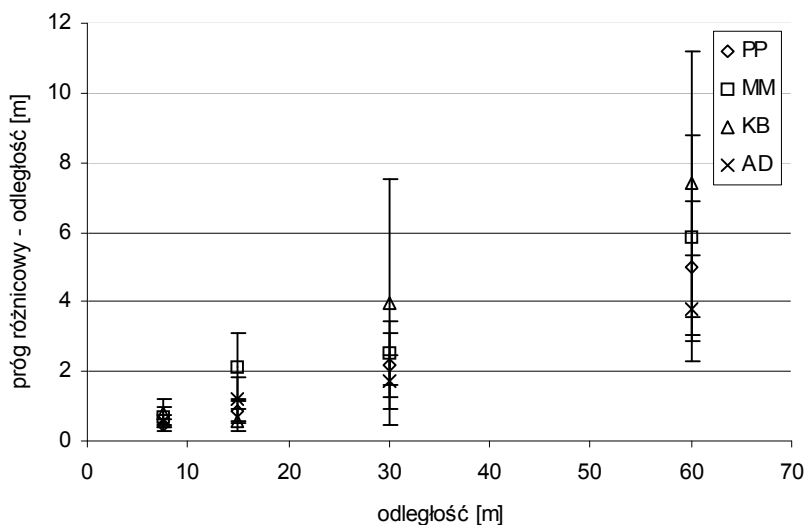
Rysunek 2. Krzywe reprezentujące źródło poruszające się z prędkością 60 km/h zarejestrowane w odległościach 7,5 i 60 m od obserwatora.

Konsekwencją kognitywistycznego podejścia do słyszenia są badania dotyczące wyznaczania progów zmian parametrów źródła dźwięku. Tego typu badania również są prowadzone w IA UAM.

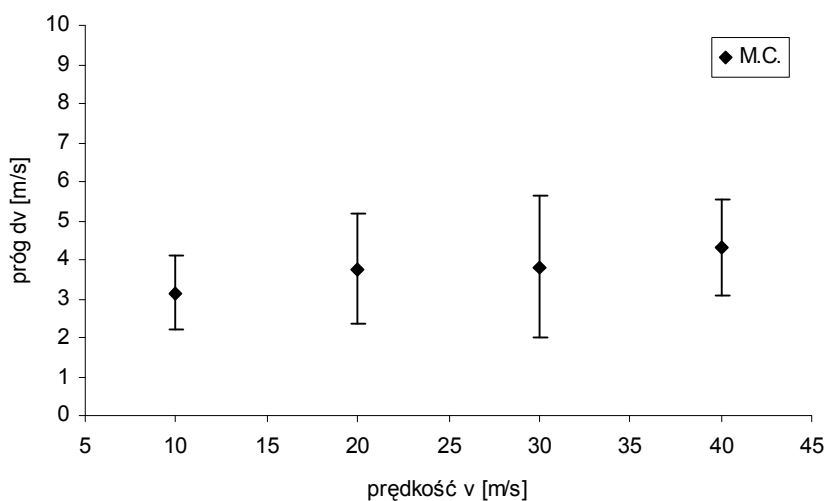
4. PROGI SPOSTRZEGANIA ZMIAN PARAMETRÓW ŹRÓDŁA DŹWIĘKU

W pracy Preis, Kaczmarek (2002) wyznaczono progi ledwo dostrzegalnych zmian odległości obserwatora od poruszającego się źródła. Z punktu widzenia kognitywistycznego ujęcia słyszenia należy najpierw podjąć próbę wyznaczenia progów spostrzegania odległości źródła dźwięku, a dopiero w następnym kroku przyporządkować tym wartościom progowym odpowiednie wartości parametrów fali akustycznej.

Podobnie wyznaczono progi ledwo dostrzegalnych zmian prędkości źródła dźwięku (Kaczmarek, 2004). Wyznaczonym wartościom progowym przyporządkowano wartości trzech przesłanek akustycznych które mają wpływ na percepcję prędkości źródła dźwięku: różnicę w poziomie ciśnienia akustycznego dźwięku, ΔLp , przesunięcie częstotliwości wynikające z efektu Dopplera, Δf , oraz międzyzyszną różnicę czasową, ΔITD .



Rysunek 3. Ledwo dostrzegalne różnice wyrażone w metrach dla czterech różnych odległości poruszającego się źródła dźwięku.



Rysunek 4. Ledwo dostrzegalne różnice wyrażone w m/s dla czterech prędkości źródła dźwięku.

Niezakończone są badania dotyczące progu ledwo dostrzegalnej zmiany masy uderzającego o podłoże spadającego przedmiotu. W tej pracy poszukujemy parametrów fali akustycznej odpowiedzialnych za spostrzeżenie różnicy w masie spadającej kulki.

5. PODSUMOWANIE

Gdy prowadzimy badania nad identyfikacją dźwięków na podstawie cech wrażenia słuchowego takich jak głośność, wysokość czy barwa dźwięku, to mamy w stosunku do słuchaczy oceniających dane dźwięki pewne oczekiwania. Zakładamy bowiem, że ocenie podlega wyłącznie słuchany sygnał, że słuchacz w swojej ocenie nie będzie się kierował skojarzeniami, jakie dany dźwięk w nim wywołuje. Oczekiwania takie mogą być spełnione wyłącznie dla sygnałów, z jakimi nie spotyka się on na co dzień, a więc egzotycznych dla słuchacza. Bowiem tylko w przypadku takich sygnałów może on przełączyć się ze słyszenia potocznego na muzyczne. Z kolei, badanie percepcji sygnałów egzotycznych nie pomaga w wyjaśnieniu percepcji dźwięków naturalnych. W przypadku gdy ocena głośności, wysokości czy barwy dotyczy dźwięków środowiskowych, wymaganie aby w ich ocenie odciąć się od skojarzeń jest trudne do spełnienia. Oczekiwania badaczy względem słuchaczy wynikają z fałszywego założenia. Założenie to brzmi: jeśli słyszymy dźwięki to percepcja słuchowa jest zakończona w momencie gdy słuchacz zidentyfikuje podstawowe charakterystyki dźwięku. Taki obraz procesu percepcji słuchowej jest nieadekwatny. Wydaje się bowiem, że słyszenie ma taką samą naturę jak widzenie. Tak jak nie widzimy fali świetlnej, lecz przedmioty, które dostrzegamy dzięki informacji wydobytej z fali świetlnej odbitej od powierzchni przedmiotów, tak samo nie słyszymy fali akustycznej lecz przedmioty, które rozpoznajemy dzięki informacji uzyskanej z fali akustycznej wytwarzanej przez przedmioty poruszające się w środowisku.

Jeśli zatem prawdziwe jest stwierdzenie, że w procesie słyszenia identyfikujemy źródła dźwięku, czyli słyszymy przedmioty (Klawiter, 1999) to należy wyjaśnić w jaki sposób informacja o przedmiocie wydobywana jest z akustycznej charakterystyki sygnału, czyli wyjaśnić jak działa słuchowy system percepcyjny. Ilustracją różnych podejść do badania słyszenia jest schemat przedstawiony poniżej.

Co słyszymy?

Dźwięki	Wydarzenia akustyczne	Przedmioty
Tradycyjne badania Psychoakustyczne [20]	Ekologiczne podejście do słyszenia [1,2,3,4,5,6,10,11,13,16,18,19]	Kognitywistyczna koncepcja słyszenia [7,8,9,14,15,17]

Zgodnie z podejściem ekologicznym słuchowy system percepcyjny nie musi przetwarzać informacji aby z cech sygnału akustycznego wydobyte zostały cechy przedmiotu, który ów sygnał wytworzył. Informacja ta zawarta jest wprost w sygnale (przyjmuje się tu koncepcję tzw. percepcji bezpośredniej Jamesa Gibsona) Według kognitywistycznej koncepcji słyszenia, słyszenie to proces przetwarzania informacji realizowany na trzech poziomach: słyszenia akustycznego, słyszenia przestrzeni oraz słyszenia przedmiotów (Klawiter, 2004). Dopiero zrealizowanie tych trzech procesów pozwala nam na słyszenie przedmiotów poruszających się w naszym otoczeniu.

LITERATURA

1. P. A. CABE, J. B. PITTENGER, Human sensitivity to acoustic information from vessel filling. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **26**, 313-324, 2000.
2. C. CARELLO, J. B. WAGMAN, M. T. TURVEY, Acoustic Specification of Object Properties, *Ecological acoustics*, 2004.
3. W. W. GAVER, What in the world do we hear? An ecological approach to auditory event perception. *Ecological Psychology*, **5(4)**: 285-313, 1993.
4. J. J. GIBSON, *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston, 1979.
5. S. HANDEL, *Listening. An Introduction to the Perception of Auditory Events*, The MIT Press, Cambridge, 1995.
6. M. HOUBEN, *The Sound of Rolling Objects. Perception of size and speed*, Technische Universiteit, Eindhoven, 2002.
7. T. KACZMAREK, Auditory perception of sound source velocity (JASA 2004 w recenzji)
8. A. KLAWITER, O słyszeniu przedmiotów, *Poznańskie Studia z Filozofii Humanistyki*, **5 (18)**, Zysk i S-ka, Poznań 1999.
9. A. KLAWITER, Elementy kognitywistycznej koncepcji słyszenia, *Studia z Kognitywistyki i Filozofii Umysłu*, t.2, Zysk i S-ka, Poznań, 2004.
10. S. J. LEDERMAN, Auditory texture perception. *Perception*, **8**, 93-103, 1979.
11. X. LI, R. J. LOGAN, R. E. PASTORE, Perception of acoustic source characteristics: walking sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, **90**, 3036-3049, 1991.
12. D. MARR, *Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, W.H. Freeman and Company, New York, 1982.
13. J.G. NEUHOFF, *Ecological Psychoacoustics: Loudness Change, Distance Relations, and Evolution*, 17th International Congress of Acoustics, Rome, Italy, vol. IV, 2001.
14. A. PREIS, Environmental corrections to acoustic descriptions of natural sounds, 17th International Congress of Acoustics, Rome, Italy, vol. IV, 2001.
15. A. PREIS, Sound and sound source in a natural auditory environment 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, Takarazuka, Japan, 2002, 343-348.
16. D. ROCCHESO, F. FONTANA (Eds) *The Sounding Object* <http://www.soundobject.org/SobBook>, 2003
17. A. PREIS, T. KACZMAREK, Noise annoyance and distance perception, DAGA 2002, Bochum, Germany
18. N. J. VANDERVEER, Acoustic information for event perception. In Paper presented at the celebration in honor of Eleanor J. Gibson, Cornell University, Ithaca, NY, 1979.
19. Jr., W. H. WARREN, R. R. VERBRUGGE, Auditory perception of breaking and bouncing events: a case study in ecological acoustics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **10**, 704-712, 1984.
20. E. ZWICKER, H. FASTL, *Psychoacoustics-Facts and models* (2nd ed.). Springer Verlag, Berlin, 1999.