

3.10 – akustyka, ultradźwięki  
i metody badawcze

**W. Bochenek, Z. Ranachowski  
J. Kiciak, A. Kukwa**

**BADANIA USZNYCH EMISJI  
AKUSTYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM  
ORYGINALNEJ APARATURY  
I METODYKI BADAWCZEJ**

**20/1992**

P.269



**W A R S Z A W A 1 9 9 2**

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 8 czerwca 1992 r.



56715



N a p r a w a c h r ę k o p i s u

---

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 100 egz. Ark.wyd.1,0 Ark.druk. 1,25

Oddano do drukarni w czerwcu 1992 r.

---

Wydawnictwo Spółdzielcze sp. z o.o.

Warszawa, ul.Jasna 1

Wanda Bochenek  
Akademia Medyczna w Warszawie,  
Oddział Stomatologii, Klinika Otolaryngologii,  
Pracownia Audiologii

Zbigniew Ranachowski  
IPPT PAN

Jan Kiciak  
Pracownia Akustyki Wojskowego Instytutu  
Higieny i Epidemiologii

Andrzej Kukwa  
Akademia Medyczna w Warszawie,  
Oddział Stomatologii, Klinika Otolaryngologii,  
Pracownia Audiologii

BADANIA USZNYCH EMISJI AKUSTYCZNYCH Z  
ZASTOSOWANIEM ORYGINALNEJ APARATURY I METODYKI  
BADAWCZEJ

S t r e s z c z e n i e

W pracy omówiono fizjologiczne podstawy zjawisk usznych emisji akustycznych, których badanie w istotny sposób wpływa na analizę działania ślimaka usznego. Autorzy opisali zarówno skonstruowaną przez siebie aparaturę i oryginalną metodykę badawczą, jak też przedstawili wyniki badań na 20-osobowej grupie probantów.

W świetle otrzymanych wyników można stwierdzić, że zaproponowana przez autorów metoda różnicowania nieliniowych składowych emisji usznych może być efektywnym narzędziem w klinicznych badaniach ślimaka.

1. Wprowadzenie

Uszne, wywołane emisje akustyczne /EOAEs od Evoked Oto-Acoustic Emissions/ odebrane z przewodu słuchowego zewnętrznego człowieka w odpowiedzi na sygnał akustyczny, zostały opisa-

ne po raz pierwszy przez D.Kempa w 1978 r. Kemp zaproponował nazwać to zjawisko echem. EOAEs uważane są za uboczny produkt stymulacji akustycznej a nie za integralną część mechanizmu słyszenia. Wszystko jednak wskazuje, że ten "przeciek" energii akustycznej z fali wędrównej, jest nieuchronną biomechaniczną właściwością prawidłowo działającego ślimaka usznego [Kemp, 1986]. W 1948 r. Gold wyraził przekonanie, że aktywne, biomechaniczne elementy kontrolują fizyczną odpowiedź na dźwięk, wzmacniając wibracje specyficznego częstotliwościowo, miejsca błony podstawnej. Odkryte, w komórkach rzęskowych zewnętrznych ślimaka, elementy kurczliwe [Flock, 1980] miałyby sprawiać, że właśnie te komórki, unerwione głównie przez włókna odśrodkowe, a więc pozostające pod kontrolą ośrodkowego układu nerwowego, działają jak aktywne, wysoce selektywne wzmacniacze i że EOAEs świadczyć mogą pośrednio o stanie czynnościowym komórek rzęskowych zewnętrznych. Ponieważ komórki te są szczególnie wrażliwe na działanie czynników uszkadzających, takich jak hałas, leki ototoksyczne, procesy inwolucyjne związane z wiekiem i z wieloma chorobami ogólnoustrojowymi, odbieranie, rejestracja i analiza EOAEs budzą zainteresowanie zarówno zespołów badawczych, skoncentrowanych na poznawaniu funkcji obwodowego narządu słuchu, jak i audiologów klinicznych. Ponieważ zapis ma charakter obiektywny, test EOAEs może okazać się przydatny w badaniu noworodków, małych dzieci i osób dorosłych, nie potrafiących współpracować podczas badania metodami subiektywnymi lub odmawiających takiej współpracy.

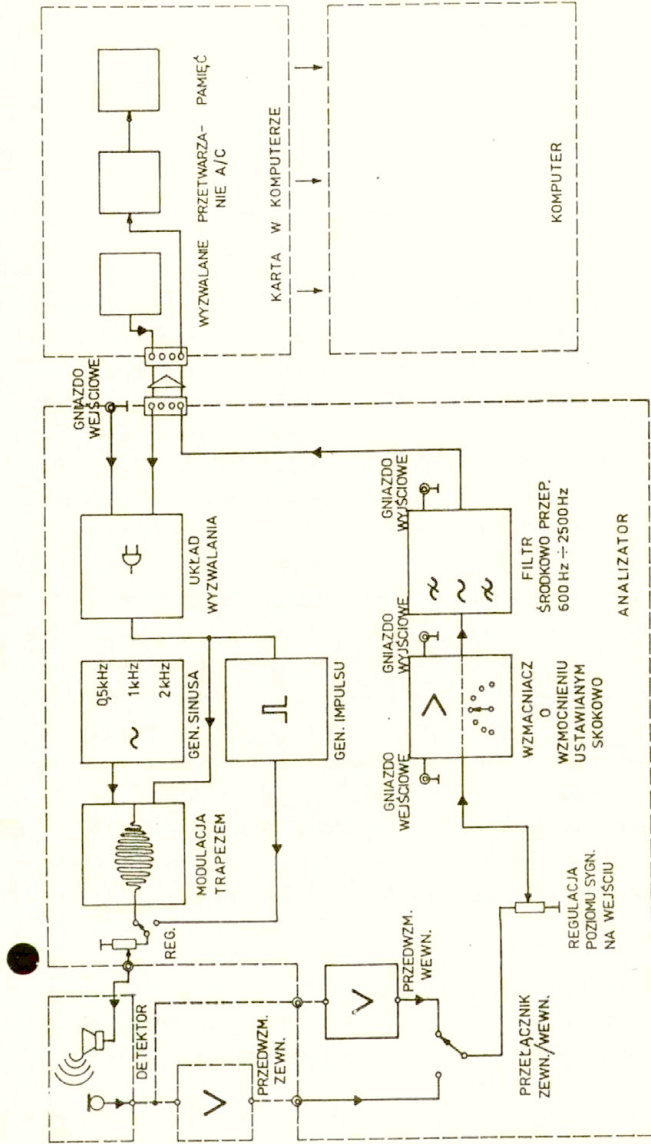
Sygnali EOAEs zawierają składową liniową i nieliniową, są bardzo słabe, ich rejestracja i analiza wymagają zastosowania aparatury wysokiej klasy, opracowania odpowiednich programów komputerowych, a w ocenie wyników niezbędne jest również - co podkreśla wielu autorów - doświadczenie zespołu badawczego.

Autorzy podjęli prace nad EOAEs kilka lat temu w ramach tematu 7/12 w programie CPBP 02.03, rozpoczynając od opracowania sondy usznej /J.K./ i - po wstępnych badaniach z wykorzystaniem aparatury do rejestracji słuchowych potencjałów z pnia mózgu [Bochenek, Ranachowski, Kiciak i in., 1991] - zaprojektowania i wykonania analizatora EOAEs oraz oprogramowania /Z.R./.

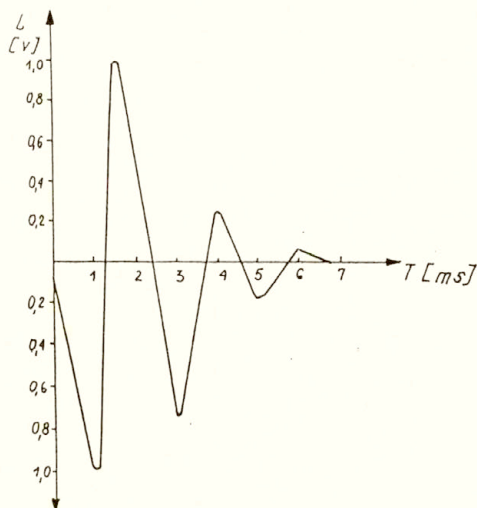
## 2. Badania własne

### Aparatura i metoda

Schemat blokowy stosowanego obecnie zestawu aparatury przedstawiony jest na rys. 1. Do sterowania procesem pomiaru i rejestracji EOAEs zastosowano komputer PC AT. Steruje on dwoma torami elektroakustycznymi. Pierwszy służy do generacji bodźca akustycznego, którym w przedstawionej serii badań, był click o czasie trwania 100  $\mu$ s. Amplituda bodźca jest regulowana ręcznie w zakresie 0-52 dB HL za pomocą potencjometru wieloobrotowego. Sygnał bodźca jest przekazywany do miniaturowej słuchawki typu Knowles XB 324/1627. Przebieg sygnału bodźca impulsowego zmierzony w komorze sztucznego ucha Brüel and Kjaer /natężenie 65 dB/ jest przedstawiony na rys. 2. Drugi tor elektroakustyczny jest przeznaczony do odbioru sygnału. Jako przetwornika użyto subminiaturowego mikrofonu typu Knowles 1843 RO 325 umieszczonego we wspólnej obudowie ze słuchawką. Przetwornik odbiorczy jest dołączony do przedwzmacniacza o wzmacnieniu 40 dB i szumach własnych poniżej 1  $\mu$ V wartości skutecznej. Wzmocniony sygnał jest przekazywany do zespołu filtrów aktywnych. Są to filtry: dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 2,5 kHz oraz górnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 500 Hz. Pierwszy o nachyleniu 12 dB, drugi - 48 dB na oktawę. Po dalszym wzmacnieniu, do wartości 1 V, sygnał jest przekazywany do przetwornika analogowo-cyfrowego z szybkim układem próbkującym o częstotliwości pracy 10 kHz. Czas trwania cyklu rejestracji wynosił tu 50 ms. Rejestracja odbywa się w 8 bitowej pamięci statycznej, dołączonej do przetwornika analogowo-cyfrowego. Po zakończonym cyklu zapisu pojedynczego sygnału EOAEs, następuje przesłanie danych do komputera. Cykl pomiaru, przesłania i wstępnej obróbki sygnału trwał 26 ms, gdy zapisywano 256 danych, jak w przedstawionej serii badań. Wartość skuteczna napięcia odpowiadającego typowemu sygnałowi EOAEs, zmierzona na zaciskach mikrofonu jest rzędu 1  $\mu$ V. Z uwagi na tak niski poziom sygnału, konieczne jest stosowanie synchronicznego uśredniania kolejnych przebiegów, celem redukcji zakłóceń pochodzących od tła akustycznego. Liczba 256



RYS 1. SCHEMAT BLOKOWY ANALIZATORA EMISJI USZNEJ

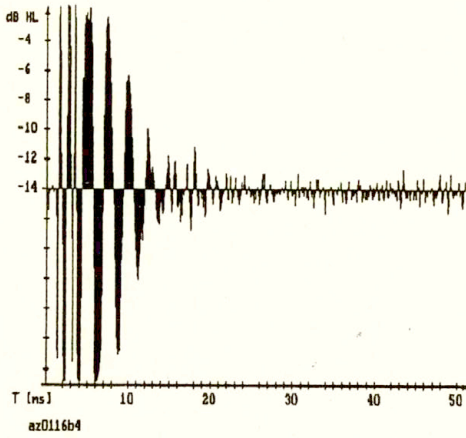


Rys. 2. Przebieg bodźca stymulującego /cliku/ w komorze sztucznego ucha Brüel and Kjaer typ 4152 ze sprzęgaczem DB 0138 o pojemności 2 cm<sup>3</sup>

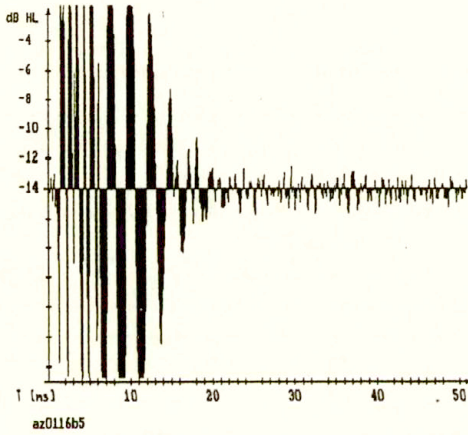
uśrednień okazała się najmniejszą, pozwalającą uzyskać względnie zadowalające zmniejszenie sygnału zakłóceń. Po uśrednieniu wynik jest zapisywany na sztywnym dysku.

Dla analizy morfologii i amplitudy EOAEs opracowano następujące programy obróbki wyników:

- I. Wykreślenie przebiegu uśrednionej EOAEs w funkcji czasu, z naniesioną skalą decybelową natężenia sygnału w dB HL. Przykłady wydruku uzyskanego przy pomocy tego programu, przedstawione są na rys. 3 - 6.
- II. Dokonanie dyskretnego przekształcenia Fouriera na zarejestrowanych danych i wykreślenie widma sygnału z rozdzielczością 50 Hz /rys. 3 - 6/.
- III. Różnicowanie nieliniowych składowych EOAEs. Ponieważ zakłada się, że EOAEs zawierają składową liniowo zależną od poziomu bodźca i składową zależną w potęgze 0,5, proponuje się eliminować składową liniowo zależną w następujący sposób /procedura oparta na zaproponowanej przez Kempa,



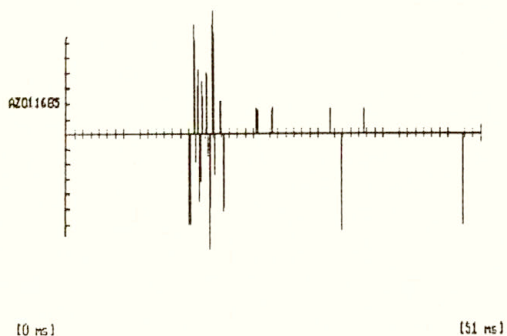
Rys. 3A



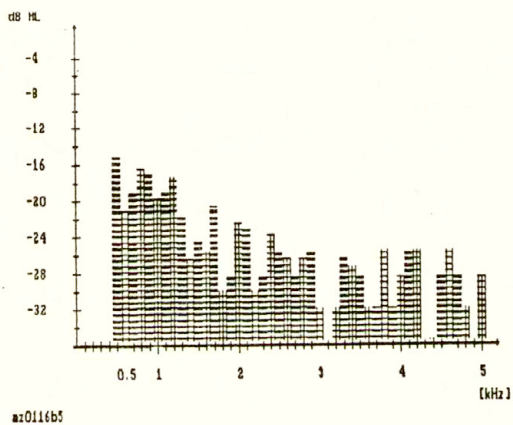
Rys. 3B

Przebiegi EOAEs w funkcji czasu u probanta AZ /opis zbiorczy  
ponizej/.



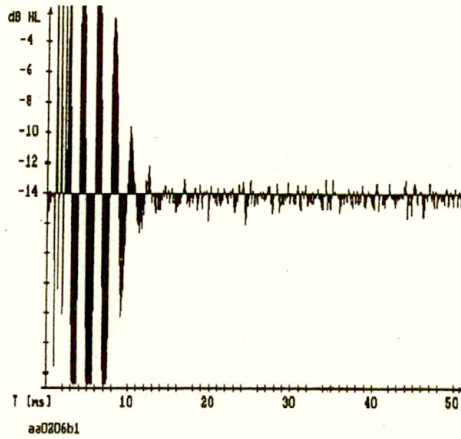


Rys. 3C

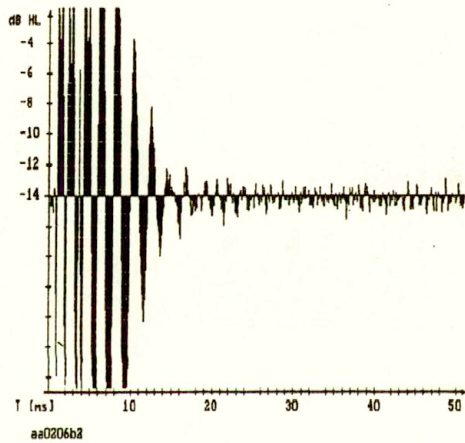


Rys. 3D

Analiza widmowa i różnicowanie składowej nieliniowej przebiegu z rys. 3B /opis zbiorczy poniżej/.

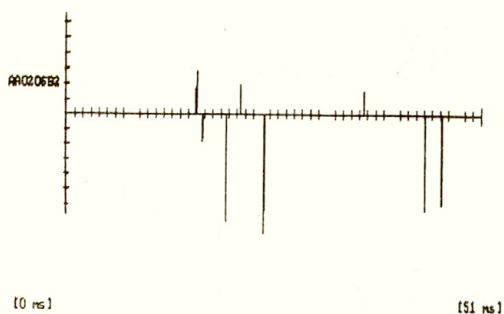


Rys. 4A

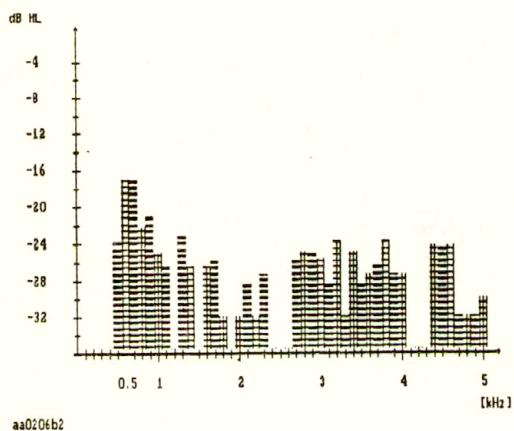


Rys. 4B

Przebiegi EOAEs w funkcji czasu u probanta AA /opis zbiorczy  
ponizej/.

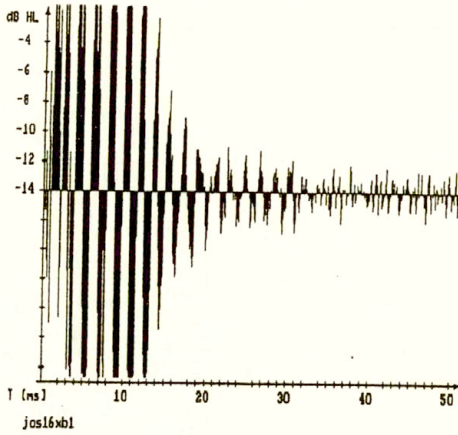


Rys. 4C

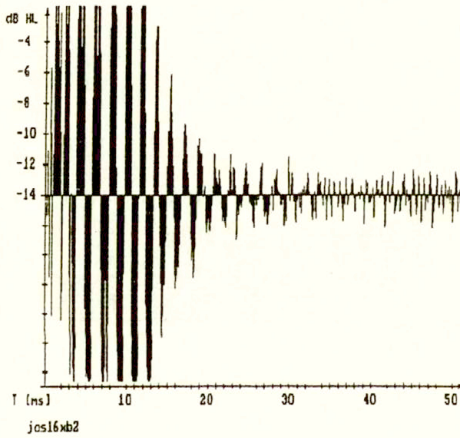


Rys. 4D

Analiza widmowa i różnicowanie składowej nieliniowej przebiegu z rys. 4B /opis zbiorczy poniżej/.

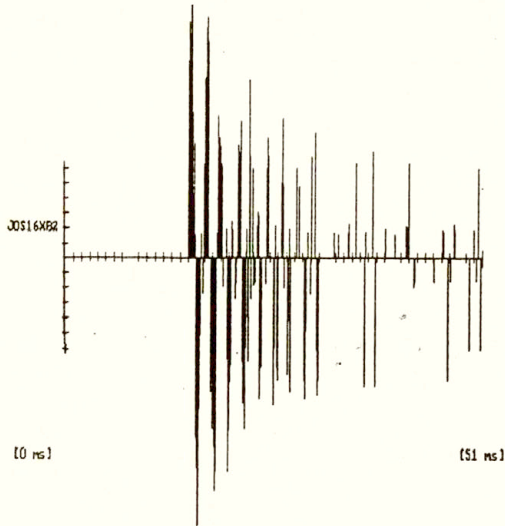


Rys. 5A

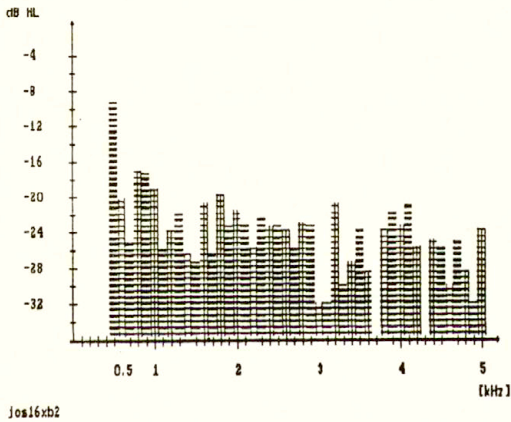


Rys. 5B

Przebiegi EOAEs w funkcji czasu u probanta JOs /opis zbiorczy  
ponizej/.

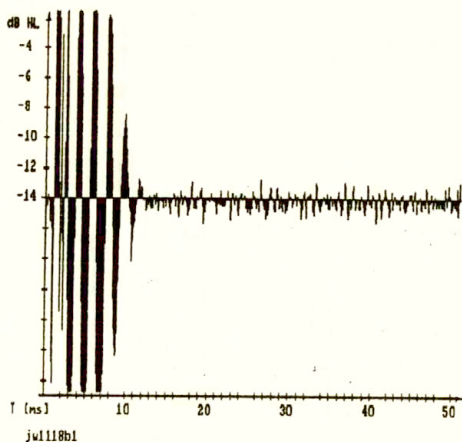


Rys. 5C

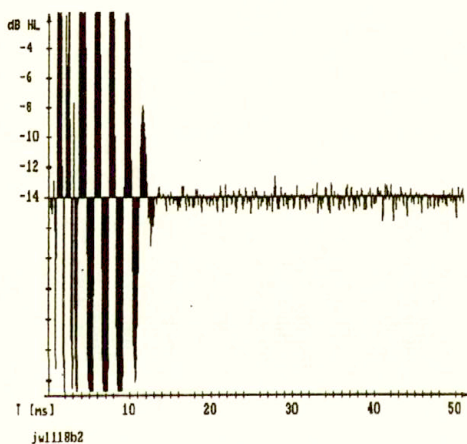


Rys. 5D

Analiza widmowa i różnicowanie składowej nieliniowej przebiegu z rys. 5B /opis zbiorczy poniżej/.

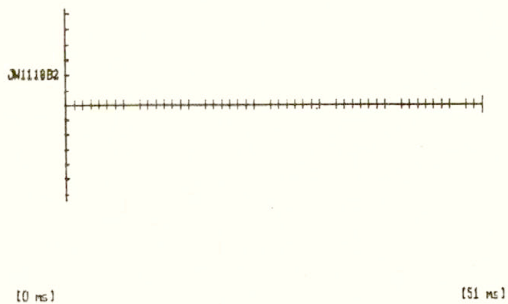


Rys. 6A

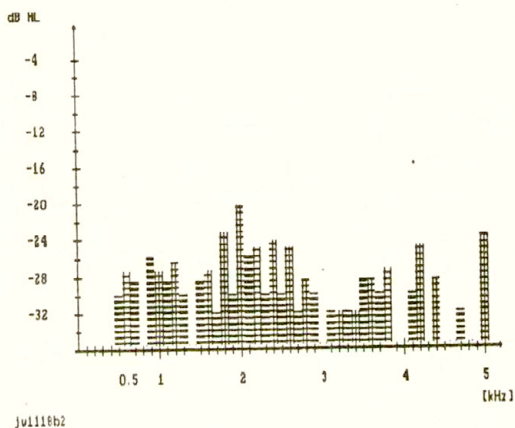


Rys. 6B

Przebiegi EOAEs w funkcji czasu u probanta JW /opis zbiorczy  
ponizej/.



Rys. 6C



Rys. 6D

Analiza widmowa i różnicowanie składowej nieliniowej przebiegu z rys. 6B /opis zbiorczy poniżej/.

OPIS ZBIORCZY rys. 3 do rys. 6:

Przykłady przebiegów zarejestrowanych po podaniu trzasku /click/ u 4 osób; A i B - odpowiedzi w funkcji czasu, C - różnicowanie składowej nieliniowej, D - analiza widmowa z przebiegu B, liczona od 17 do 27 ms od początku bodźca. Duże oscylacje w pierwszych ok. 12 ms /A - 20 dB HL/ i ok. 16 ms /B - 36 dB HL/ są spowodowane przez bodziec. Na rys. 3, 4 i 5 /probanci AZ, AA i JOs/ widoczne są następnio oscylacje o mniejszej amplitudzie i różnej morfologii, odpowiadające EOAEs. Na rys. 6/JW/ w ocenie subiektywnej brak EOAEs /A i B/, potwierdzony różnicowaniem składowej nieliniowej.

1986/: sygnał uzyskany w wyniku działania bodźca o czterokrotnie niższym poziomie - w przedstawionej serii był to poziom 20 dB HL - zwiększa się czterokrotnie. Rejestruje się następnie odpowiedź na sygnał o natężeniu czterokrotnie wyższym - w tej serii 36 dB - i wyznacza się różnicę. Dodatkowo w wykresie wynikowym pomija się szum, za który przyjęto sygnały o amplitudzie niższej niż -12 dB HL oraz oscylacje związane z bodźcem i utrzymujące się, w przedstawionej serii, co najmniej do 11 ms od początku nadawania bodźca. Pozostałe, po tej obróbce, składowe EOAEs można uważać za nieliniowe. Są one przedstawione w funkcji czasu, w postaci pionowych słupków, proporcjonalnych do chwilowej wartości tej składowej /rys. 3, 4, 5/.

#### Protokoł badań i materiał

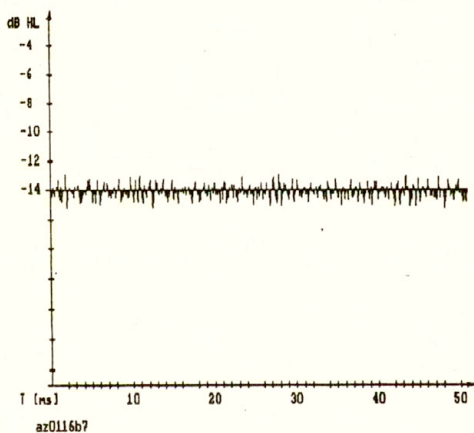
Badania EOAEs poprzedzono wywiadem audiologicznym, badaniem wziernikowym uszu, przeglądowym badaniem słuchu na drodze przewodnictwa powietrznego w zakresie 250-8000 Hz /Audiometr Madsen Midimate 602/ i Elektrostymulacyjną Audiometrią Wysokoczęstotliwościową /aparatus Screening High-Frequency Electrophonometer opracowany i wykonany w Pracowni Bochenek, Kiciak, 1991, 8000 - 20 000 Hz/. Przedstawione są poniżej wyniki badań EOAEs 20 osób w wieku 21-26 lat, średnia 22,8, 16 kobiet i 4 mężczyzn z prawidłowymi wynikami badań wstępnych. Badania przeprowadzono w kabinie audiometrycznej typu GIG-KAUD-2/1990. Proband, siedzący w fotelu, był instruowany, żeby starał się nie poruszać i zarazem odprężyć psychicznie. Podawano 256 clicków o poziomie kolejno 20 i 36 dB HL do prawego i lewego ucha. Dla porównania uśredniano 256 przebiegów bez bodźca aku-



stycznego, z sondą tkwiącą w uchu. Przebiegi EOAEs rejestrowano wg opisanych programów oraz poddawano je ocenie wizualnej niezależnie trojga autorów. Ocena dotyczyła morfologii i amplitudy odpowiedzi w kolejnych przebiegach i w zestawieniu z przebiegiem bez bodźca akustycznego.

### Wyniki

Wśród 20 osób, u 18 zarejestrowano uszne wywołane emisje akustyczne o różnej morfologii i amplitudzie. U 2 osób nie uzyskano odpowiedzi, którą można by przyjąć jako EOAEs. Ocena wzrokowa została potwierdzona w programie różnicującym odpowiedź nieliniową. Cztery przykłady, w tym jeden z brakiem odpowiedzi zapisów EOAEs, z analizą widmową i różnicowaniem składowej nieliniowej, przedstawione są na rys. 6. Duże oscylacje widoczne w pierwszej części zapisu nie są EOAEs, a związane są z bodźcem i z odbiciami akustycznymi w obrębie przewodu słuchowego. Przebieg bez bodźca akustycznego jest przedstawiony na rys. 7.



Rys. 7. Typowy przebieg sygnału zmierzony w sondzie umieszczonej w uchu, bez bodźca akustycznego

### Dyskusja

Wyniki badań EOAEs, podawane w piśmiennictwie, nie są zgodne. I tak np. Kemp, Bonfils, Glatkke, rejestrowali EOAEs "praktycznie u wszystkich młodych, zdrowych osób". U innych autorów wyniki nie były tak jednoznaczne. Na przykład van Dijk i Wit uzyskali emisje w 85 uszach na 210 badanych, a Land i Randa stwierdzają, że "spotykali uszy z dobrym słuchem, ale bez emisji". Natomiast wszyscy autorzy podkreślają znaczne, międzyosobnicze różnice EOAEs oraz różnice mogące wynikać z zastosowanej aparatury i metody. Podane wyżej wyniki własne pozwalają stwierdzić, że w przypadku młodych, zdrowych osób, można zarejestrować u przeważającej większości /ok. 80%/ uszne wywołane emisje akustyczne za pomocą sprzętu i procedury badawczej, opracowanej przez autorów. Opracowywane są dalsze modyfikacje aparatury i metody, mające na celu przede wszystkim zmniejszenie zakłóceń, artefaktów, związanych z bodźcem, utrudniających ocenę właściwej odpowiedzi ślimaka usznego [Lutman i in.]. Te działania oraz gromadzenie materiału badań klinicznych, przybliżają zastosowanie testu EOAEs w szerszej praktyce audiologicznej.

### LITERATURA

1. BOCHENEK W., KICIAK J.: Audiometrie de Hautes Frequences par Electrostimulation, Comptes-Rendus des seances du LXXXVIIe Congres Francais d'Oto-Rhino-Laryngologie. Paris 1990. Edit. Librairie Arnette 1991, 137-141.
2. BOCHENEK W., RANACHOWSKI Z., KICIAK J., SKUBIS K.: Uszne emisje akustyczne. Badania własne - doniesienia wstępne. w Problemy Współczesnej Akustyki. red. J.Ranachowski. Wyd. PAN IPPT, Warszawa 1991.
3. BONFILS P.: Analyse critique des Applications Cliniques des Oto-Emissions Acoustiques: a propos de 1031 cas. These pour le Doctorat en Medecine 121 str. Edit. Fondation Egic-Joullio pour la Recherche ORL, 22, av Galilee 92350 le Plessis-Robinson, 1989.
4. Van DIJK, WIT H.P.: The Occurrence of click-evokes Oto-Acoustic Emissions /"Kemp Echoes"/ in Normal-Hearing Ears. Scand. Audiology, 62-64, 1987.
5. GLATTKE T.J., KUJAWA S.G.: Otoacoustic Emissions. AJA, 29-40,

November 1991.

6. GOLD T.: Hearing II. The physical basis of the action of the cochlea. Proc. of the Royal Soc. of London, B:135, 492-498.
7. KEMP D.T.: Stimulated acoustic emission from the human auditory system. J.Acoust.Soc.Am., 1386-1391, 1978.
8. KEMP D.T., BRAY P., ALEXANDER L., BROWN A.M.: Acoustic emission cochleography-practical aspects. Scan.Audiology Suppl. 25, 71-95, 1986.
9. LIND O., RANDA J.: Evokes Acoustic Emissions in High-Frequency vs. Low/Medium Frequency Hearing Loss. Scand.Audiology, 21-25, 1989.
10. LUTMAN M., SHEPPARD S.: Quality Estimation of Click-Evoked Oto-Acoustic Emissions. Scand. Audiology, 3-7, 1990.

Praca subwencionowana przez grant KBN 2455/4/91.



56715