

Zysk z przetwarzania obuusznego u osób z niedosłuchem odbiorczym

The Benefit of Binaural Processing on Subjects with Sensorineural Hearing Loss

Anna Pastusiak¹, Jędrzej Kociński¹, Anna Warzybok²

1) Instytut Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

2) Medizinische Physik, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Germany

STRESZCZENIE

Interakcja na poziomie centralnym, pomiędzy informacją akustyczną docierającą do prawego i lewego ucha jest podstawą przetwarzania binauralnego. Przetwarzanie to przyczynia się m.in. do dokładniejszej lokalizacji źródeł dźwięku w przestrzeni, czy zmniejszenia wpływu dźwięków zakłócających na odbiór tych pożądaných, w tym mowy. Wymienione procesy ulegają zaburzeniu w przypadku występowania niedosłuchu, szczególnie o charakterze odbiorczym.

W opisywanym tu badaniu wykonano serię pomiarów dotyczących efektów binauralnych dotyczących zrozumiałości mowy prezentowanej w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (w obecności sygnału maskującego). Wykorzystanym materiałem językowym był Polski Test Zdaniowy typu Matrix, który jest ustandaryzowany i dostępny w wielu językach [1]. Modyfikując położenie źródła sygnału maskującego względem sygnału użytecznego określono zmianę wielkości progu zrozumiałości mowy opisywaną jako Intelligibility Level Difference (ILD). Aby rozróżnić wpływ efektu cienia głowy i binauralnego przetwarzania w mózgu, przeprowadzono również test Binaural Intelligibility Level Difference (BILD). Wyniki tych badań mają służyć opracowaniu procedury dopasowania aparatów słuchowych, która w większym stopniu uwzględnia zrozumiałość mowy w różnych warunkach akustycznych i przestrzennych. Takie podejście zaproponowane zostało przez Carl von Ossietzky Universität w Oldenburg we współpracy z innymi ośrodkami, m. in. Instytutem Akustyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Słowa kluczowe: audiologia, audiometria mowy, przetwarzanie obuuszne, niedosłuch

SUMMARY

Interaction at the central level between the acoustic information reaching the right and left ear is the basis of binaural processing. This processing contributes inter alia to more accurate location of sound sources in space, or to reduction of the impact of disturbing sounds on the reception of the desired ones, including speech. These processes are disturbed in the case of hearing loss, especially of a reception nature.

In the study described here, a series of measurements were made regarding binaural effects regarding speech intelligibility presented in near-real conditions (in the presence of a masking signal). The Polish Matrix Sentence Test was used, which is standardized and available in many languages [1]. By modifying the position of the masking signal source relative to the useful one, the change in the size of the speech intelligibility threshold described as Intelligibility Level Difference (ILD) was determined. To distinguish the head shadow effect and binaural processing in the brain, the Binaural Intelligibility Level Difference (BILD) test was also performed. The results of these tests are intended to develop a procedure for hearing aids fitting that takes into account in more precise way speech intelligibility in different acoustic and spatial conditions. This approach was proposed by Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg in cooperation with other centers, among others Institute of Acoustics of the University of Adam Mickiewicz University in Poznań.

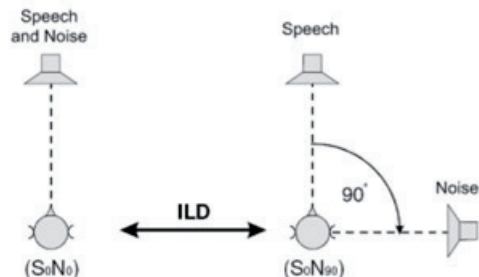
Keywords: audiology, speech audiometry, binaural processing, hearing impairment

1. ILD i BILD

Aby w możliwie wierny, a przy tym prosty i powtarzalny sposób wyznaczyć parametry ILD oraz BILD używa się nagrań binauralnych. Ten rodzaj rejestracji fizycznie realizowany w nagraniu poprzez wykorzystanie tzw. sztucznej głowy - modelu głowy wraz z małżowinami oraz mikrofonami umieszczonymi w miejscach błon bębenkowych. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest odzwierciedlenie wpływu dyfrakcji i odbić na głowie, jak i rezonansów układu tworzonego przez małżowinę oraz przewód słuchowy zewnętrzny, określaných jako funkcję przeniesienia głowy, HRTF (Head Related Transfer Function). Szczegóły wyznaczania obu wielkości przedstawiono poniżej.

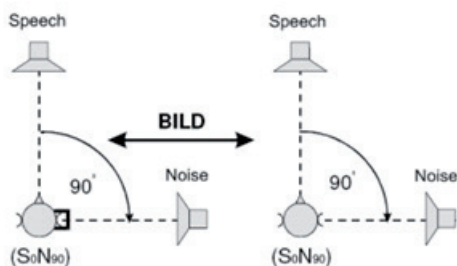
Parametr ILD związany jest z korzyścią, jaką czerpie słuchacz z odseparowania źródeł sygnału użytecznego (mowa) oraz maskującego. Miara tego efektu jest różnica zmierzonych binauralnie wartości progu rozumienia mowy (Speech Reception Threshold, SRT), czyli takiej wartości stosunku sygnału do szumu (Signal-to-Noise Ratio, SNR), dla której rozumiane jest 50% elementów testu zrozumiałości mowy, uzyskanych dla dwóch konfiguracji źródeł dźwięku: pierwszej, z sygnałem mowy docierającym z kierunku „na wprost” (azymut 0°) i maskerem (szumem zakłócającym) o azymucie 90° (S0N90) i drugiej, w której mowa oraz szum prezentowane są z tego samego kierunku – „na wprost” (S0N0). Ze względu na wpływ

efektu cienia głowy i binauralnego przetwarzania na wyższych piętrach drogi słuchowej, odseparowanie mowy i sygnału maskującego prowadzi do poprawy SRT w przypadku przestrzennej separacji obu źródeł. Schematycznie pomiar ILD przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Konfiguracje przestrzenne służące do wyznaczenia Intelligibility Level Difference – ILD (za: hearcom)

Aby rozróżnić wpływ efektu cienia głowy i binauralnego przetwarzania na poziomie centralnym, przeprowadza się również test BILD, w którym mierzy się SRT w warunkach binauralnych SON90, a następnie w tych samych ustawieniach, ale przy wyłączeniu ucha po stronie źródła maskera. BILD jest różnicą między SRT SON90 mierzonym monauralnie (z wyłączonym kanałem sygnału pochodzącego z ucha sztucznej głowy znajdującego się bliżej źródła szumu) i binauralnie. Ze względu na korzyści osiągane przy przetwarzaniu binauralnym i występowanie efektu cienia akustycznego, wyniki otrzymane przy odsłuchach binauralnych mogą być lepsze, niż przy wyłączonym kanale od strony źródła szumu (prezentacja monauralna). Schematycznie pomiar BILD przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Binaural Intelligibility Level Difference – BILD (za: hearcom)

Choć w przypadku eksperymentów dotyczących wymienionych zjawisk binauralnych, w których wykorzystywany jest odsłuch słuchawkowy, winno mówić się o „lateralizacji” a nie klasycznej „lokalizacji”, zakładającej, iż obraz dźwiękowy tworzony jest na zewnątrz głowy osoby badanej (jak ma to miejsce w warunkach rzeczywistych lub odsłuchach głośnikowych), to w przypadku opisywanych pomiarów zasadne jest odwoływanie się do pojęcia „lokalizacji”, ze względu na wykorzystanie sztucznej głowy, która umożliwia odsłuch bardzo dobrze odwzorowujący przestrzenność źródeł, a ich „obraz” tworzony jest na zewnątrz głowy w miejscach ich faktycznego występowania w rzeczywistości. Tzw. techniki binauralne wiernie odtwarzają przestrzeń dźwiękową w taki sposób,

by pomimo odsłuchu nagrania przez słuchawki, sygnał docierający do odbiorcy był możliwie najbardziej tożsamy z tym, jaki występowałby w miejscu oraz czasie nagrania. Do słuchacza dostarczana jest zatem pełna informacji przestrzennej i percepcyjne wrażenie naturalnego odsłuchu, co w konsekwencji mocno zbliża badania do sytuacji rzeczywistych.

2. Próba badawcza

Grupę badawczą stanowiło 16 osób. Były to osoby pełnoletnie (średni wiek: 70,2 lat), natywni mówcy języka polskiego (biegłość językowa wpływa bowiem na wyniki badania zrozumiałości mowy [1]), u których stwierdzono niedosłuch odbiorczy. W przypadku każdego badanego, zgodnie z wytycznymi WHO, występowały również wskazania do protezowania słuchu – średni ubytek PTA 4 przekraczał w uchu lepiej słyszającym 40 dB HL.

3. Pomiary

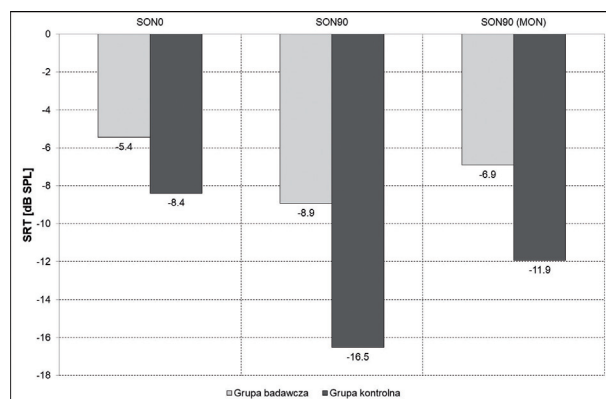
Pomiary binauralne, poprzedzone otoskopią i audiometrią tonalną, wykonywane były w szumie stacjonarnym PolMat o stałym poziomie. Masker ten został wygenerowany na zasadzie wielokrotnej superpozycji zdań wchodzących w skład macierzy Polskiego Testu Zdaniowego typu Matrix, stąd długoczasowe widmo powstałego w ten sposób szumu odpowiadało widmu materiału słownego. Wykorzystanie tego rodzaju szumu miało zatem na celu głównie maskowanie energetyczne o maksymalnej skuteczności ze względu na dopasowanie widmowe obu sygnałów [2]. Domyślnym poziomem maskera było 65 dB SPL, natomiast w przypadku dziewięciu pomiarów wartość ta była wyższa (ośmiokrotnie – 70 dB SPL i raz 80 dB SPL). Wynikało to z głębokości niedosłuchu badanych oraz indywidualnych preferencji słuchacza – z jednej strony, osoba prowadząca badania musiała mieć pewność, że pomiar wykonywany jest na tle szumu (tzn. słuchacz był w stanie go usłyszeć), z drugiej – poziom sygnału maskującego nie mógł przekroczyć wartości zapewniającej komfort słuchaczowi.

Aby uniknąć „efektu treningu”, a więc uzyskiwania lepszych wyników w miarę kontynuacji procedury badawczej, pomiar właściwy poprzedzony był dwoma listami treningowymi, składającymi się, jak w przypadku części zasadniczej eksperymentu, z 20 zdań z testu Matrix.

Badanie odbywało się w 3 blokach, określających wartości parametrów ILD oraz BILD. W trakcie pomiaru zastosowano procedurę adaptacyjną służącą do wyznaczenia SRT z uwzględnieniem tzw. word-scoring (czyli oceniano zrozumiałość każdego wyrazu, np. jeśli 4 na 5 wyrazów zostało poprawnie powtórzonych, to sumaryczna zrozumiałość zdania wynosiła 80%). Pierwsze zdanie z listy odtwarzane było przy stosunku sygnału do szumu (SNR) wynoszącym 0 dB. Dla następnej prezentacji, poziom materiału zdaniowego zmieniał się w sposób adaptacyjny, w zależności od wartości zrozumiałości mowy w poprzednim zdaniu (jeśli była wyższa niż 50%, to SNR kolejnego zdania był niższy i odwrotnie).

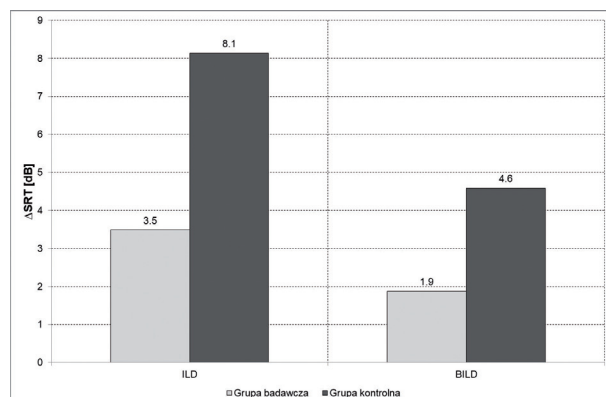
4. Wyniki

Na ocenę zjawisk binauralnych składały się pomiary progu zrozumiałości mowy SRT w trzech konfiguracjach przestrzennych (dwie binauralne: SON0 – Rys. 1, strona lewa, SON90 – Rys. 1 i Rys. 2, strona prawa i jedna monauralna: SON90 (MON) – Rys. 2 strona lewa). Uśrednione dla całej grupy badawczej wyniki badań, zaprezentowano na Rys. 3.



Rys. 3. SRT w trzech konfiguracjach przestrzennych dla grupy badawczej (kolor jasny) i kontrolnej (kolor ciemny)

Wartości pomiarów przeprowadzonych w 3 konfiguracjach (SON0, SON90 i SON90(MON)) odniesiono do literaturowych danych referencyjnych dla osób zdrowych, dla których w tym samym teście 50% zrozumiałość mowy (SRT) uzyskiwana była na poziomie -5,4 dB SNR w przypadku, gdy sygnał użyteczny oraz zakłócający dochodziły z tego samego kierunku (SON0). Polepszenie zrozumiałości mowy następowało dla warunków, w których szum maskujący był przestrzennie odseparowany od sygnału mowy SON90- średnie SRT wyniosło -8,9 dB SNR. Dla tej samej konfiguracji przestrzennej źródła mowy i szumu, ale z wyłączonym jednym z kanałów ze strony szumu maskującego (SON90(MON)) średnie SRT wynosiło -6,9 dB SNR. Wszystkie przywołane wartości są wyższe, niż w przypadku średnich rezultatów otrzymanych dla prawidłowo słyszących. Różnice te są największe w konfiguracji SON90, a więc z przestrzennym rozseparowaniem sygnału mowy oraz maskera. Na podstawie trzech wymienionych pomiarów wyznaczone zostały parametry ILD oraz BILD. Ich uśrednione wartości (dla grupy badawczej oraz, przywołanej wyżej, grupy kontrolnej) przedstawiono na Rys. 4.



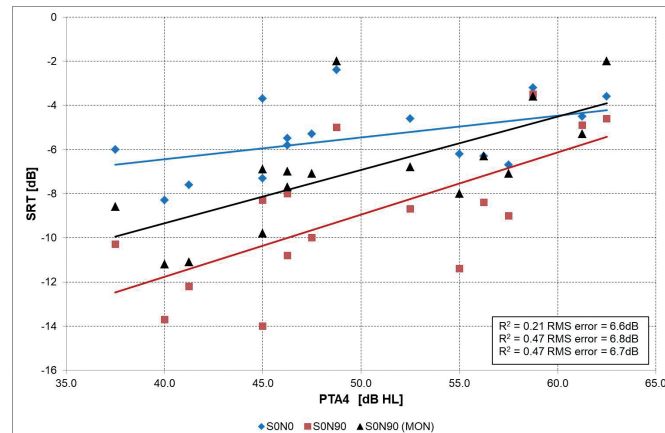
Rys. 4. Porównanie wyników ILD i BILD dla grupy badawczej (kolor jasny) i kontrolnej (kolor ciemny)

Dane referencyjne dotyczące grupy prawidłowo słyszących pokrywają się z dużą dokładnością z wynikami opisywanymi przez literaturę, które wskazują na to, że korzyść wynikająca z przestrzennego rozseparowania sygnału mowy i szumu, wyrażona poprzez parametr ILD winna oscylować w przedziale od 6 do 12 dB (średnio 8,1 dB). W przypadku przebadanych w ramach eksperymentu słuchaczy z niedosłuchem odbiorczym, zysk ten jest znacznie mniejszy i osiąga średnią wartość 3,5 dB (przy odchyleniu standardowym 1,9 dB).

Wielkość BILD, opisująca efekt związany z percepcją binauralną, która przy prawidłowym słuchu osiąga wartość od 3 do 6 dB (średnio 4,5 dB), wśród grupy z odbiorczym niedosłuchem wynosiła średnio 1,9 dB (przy odchyleniu 1,4 dB), a więc ponad dwa razy mniej niż w próbie kontrolnej.

Dane przedstawione na wykresie dowodzą zatem twierdzenia, że u osób z niedosłuchem odbiorczym obserwuje się mniej efektywne wykorzystanie przestrzennej separacji prezentowanych równocześnie sygnałów użytecznych i zakłócających, w kontekście poprawy zrozumiałości mowy. Obserwacja ta dotyczy również wielkości BILD – zysk w zrozumiałości mowy wynikającego z obuusznego percepcji sygnału, w porównaniu do prezentacji monauralnej, jest znacznie mniejszy niż wśród prawidłowo słyszących.

Na Rys. 5 przedstawiono zależność zrozumiałości mowy wyznaczonej w trzech różnych konfiguracjach pomiarowych (SON0, SON90 i SON90 (MON)) od średniego progu słuchu wyznaczonego dla 4 częstotliwości - 500, 1000, 2000 i 4000 Hz (PTA 4) dla ucha „lepszego”, a więc tego, w którym występuje mniejszy ubytek w audiometrii tonalnej.



Rys. 5. PTA 4 a SRT w trzech konfiguracjach pomiarowych – SON0, SON90, SON90(MON)

Jak wynika z Rys. 5, przy przestrzennym rozseparowaniu sygnału użytecznego i maskującego (w konfiguracjach SON90), ubytek słuchu lepiej koreluje ze zrozumiałością mowy – tzn. zrozumiałość mowy, wyrażona poprzez SRT osiąga wyższe wartości dla mniejszych ubytków słuchu (określonych przez PTA 4), jednak w ogólności, zależność obserwowanej zrozumiałości mowy od ubytku słuchu jest niewielka. Szczególnie dotyczy to pomiarów, w których sygnał mowy i szum maskujący pochodzą z tego samego kierunku „na wprost” słuchacza (SON0). Można więc stwierdzić, że badanie zrozumiałości mowy w warunkach przestrzennych daje nowe jakościowo

wyniki, które cechuje niska korelacja z PTA 4. Innymi słowy, PTA 4 nie wyjaśnia w sposób dostateczny wszystkich aspektów ubytku mowy - badania przestrzenne dostarczają dodatkowych informacji, które mogą zostać wykorzystane w procesie bardziej efektywnego dopasowania aparatów słuchowych.

5. Wnioski

Przedstawione wyniki badań sygnalizują zasadność prowadzenia dalszych analiz w kierunku oceny zysku z przetwarzania obuusznego w przypadku występowania niedosłuchu.

Wymagane jest przeprowadzenie pomiarów, uwzględniających szerszą i bardziej zróżnicowaną grupę badawczą, tak, by ocenić nie tylko to, w jak dużym stopniu ubytek słuchu ogranicza zrozumiałość mowy, ale i określić przyczyny takiego stanu, z uwzględnieniem czynników pozasłuchowych. Dzięki temu możliwe stanie się udoskonalenie procedur dopasowania aparatów słuchowych (w tym określenie potencjalnych korzyści wynikających z jedno- lub obuusznego zaprotezowania), dokładniejsza ocena zysku z aparatów słuchowych, a w efekcie – zwiększenie możliwości swobodnej percepcji mowy, przez wielu uważanej za najwygodniejszą i najbardziej naturalną metodę komunikacji, dzięki której człowiek może realizować właściwą ludzkiej naturze skłonność do porządkowania świata i niejako „oswajania” otaczającej, często chaotycznej, rzeczywistości.

6. Bibliografia

1. Ozimek, E., Polish sentence tests for measuring the intelligibility of speech in interfering noise, *Int J Audiol*, 2009, 49, s. 444 – 454.
2. Warzybok, A., Brand, T., Wagener, K.C., Kollmeier, B., How much does language proficiency by non-native listeners influence speech audiometric tests in noise?, *Int J Audiol*, 2015, 54 (2), s. 88-99.
3. Durlach, N., Informational masking: Counteracting the effects of stimulus uncertainty by decreasing target-masker similarity, *J. Acoust. Soc. Am.*, 2003, 114(1), s. 368–379.