

# Znaczenie badania na uchu rzeczywistym (REM) w dopasowaniu aparatów słuchowych

## The value of real ear measurement in hearing aids fitting

Anna Cierpicka-Świtkowska<sup>1</sup>, Krzysztof Świtkowski<sup>2</sup>

1) Strefa Słuchu Anna Cierpicka-Świtkowska, Cezary Kozub Sp.j.,  
ul. Poborzańska 37 lok. 5U, 03-368 Warszawa (biuro@strefasluchu.pl)

2) Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska  
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa (krzysztof.switkowski@pw.edu.pl)

### STRESZCZENIE

Badanie na uchu rzeczywistym jest ważnym etapem w dopasowaniu aparatów słuchowych. Umożliwia weryfikację dopasowania aparatów słuchowych oraz znacznie dokładniejsze ustawienie ich wzmocnienia do docelowej wartości. W artykule przedstawiono krótki przegląd badań ukazujących wpływ pomiarów na uchu rzeczywistym na jakość i skuteczność dopasowania aparatów słuchowych. W celach poglądowych przedstawiono przykładowe krzywe uzyskiwane w trakcie pomiarów REM. Ponadto, w artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych przez autorów artykułu nad dostępnością pomiarów na uchu rzeczywisty w Polsce w województwie mazowieckim.

*Słowa kluczowe: niesłyszący, aparaty słuchowe, REM*

### SUMMARY

Real-Ear Measurement (REM) is a crucial stage in the process of hearing aids fitting. It enables verification of the fitting procedure and obtaining the closest match to the prescribed amplification gains. In the paper, there is a short review of scientifically proven benefits of the application of REM in hearing aids fitting.

For illustrative purposes, a few examples of curves obtained during REM measurements are presented. Moreover, we show the results of our recent research on the availability of REM in Poland. The research sample group covers all hearing aid centers in the Mazovian state.

*Key words: hearing impaired, hearing aids, Real-ear measurements*

## 1. Wstęp

Każdy z nas różni się wzrostem, wagą i budową ciała. Nie inaczej jest w przypadku zewnętrznego przewodu słuchowego. Różni się on kształtem a w szczególności objętością u każdej z osób. Różnica ta jest największa gdy porównamy zewnętrzny przewód słuchowy dziecka, poniżej piątego roku życia, z zewnętrznym przewodem słuchowym osoby dorosłej lub osoby po zabiegach chirurgicznych, ingerujących w zewnętrzny przewód słuchowy. Charakterystyka akustyczna zewnętrznego przewodu słuchowego zmienia się także wraz z wiekiem pacjenta. Z tego powodu w pierwszym etapie ustawienia aparatów słuchowych w programie dopasowującym podaje się wiek oraz płeć pacjenta. Obecnie najczęściej stosowane metody dopasowania aparatów słuchowych to te bazujące na NAL-NL2 (National Acoustic Laboratories

— NonLinear 2) oraz DSL (Desired Sensation Level), w wersji 5.0 [1]. Ponadto używane są te przygotowane przez producentów aparatów słuchowych posiadające swoje chronione rozwiązania: między innymi Adaptive Phonak Digital 2.0 [2], Signia-Xfit [3] oraz Bernafon Oasisnxt [4]. Wszystkie one bazują na pewnych uogólnionych parametrach ucha. Modele te pozwalają oszacować docelowe wzmocnienie aparatu słuchowego na podstawie wgranego do nich audiogramu pacjenta i na bazie teoretycznych formuł i empirycznych poprawek [5]. Wymienione modele dopasowania zweryfikowano na grupie pacjentów z rozróżnieniem przedziału wiekowego i płci [6, 7].

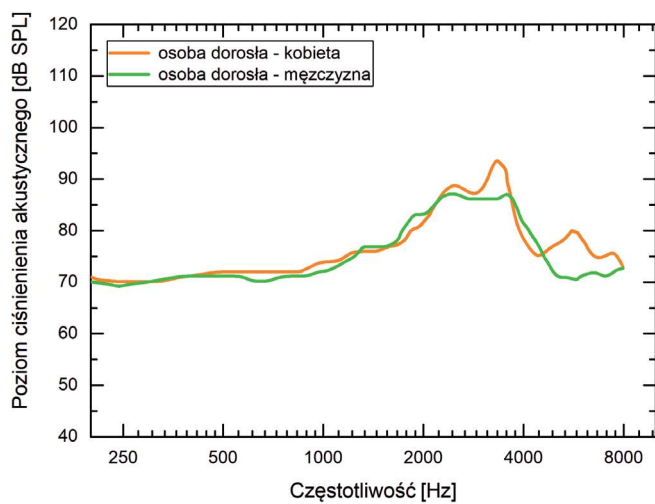
## 2. Materiały i metody

Jeżeli mamy dwie różne osoby o tym samym niedosłuchu, identycznych aparatach słuchowych, takim samym ustawieniu tych aparatów to ze względu między innymi na różny kształt i objętość zewnętrznego przewodu słuchowego dźwięk

<sup>1</sup> biuro@strefasluchu.pl

<sup>2</sup> krzysztof.switkowski@pw.edu.pl

z aparatów słuchowych docierający do błony bębenkowej będzie nieco inaczej brzmiał. Różnice w budowie zewnętrznego przewodu słuchowego powodują, że ma on nieco inne częstotliwości rezonansowe. Uwypukla on pewne obszary widma częstotliwości dźwięków docierających do błony bębenkowej. Na rysunku 1 przedstawiono dwa pomiary REUR - (Real Ear Unaided Response), czyli poziomu ciśnienia akustycznego, w funkcji częstotliwości, w odległości około 5 mm przed błoną bębenkową, w określonym polu akustycznym (tj. dla określonego kierunku fali akustycznej docierającej do ucha) oraz przy braku aparatu słuchowego (wkładki usznej lub aparatu wewnętrznego) dla dwóch osób o różnej płci.



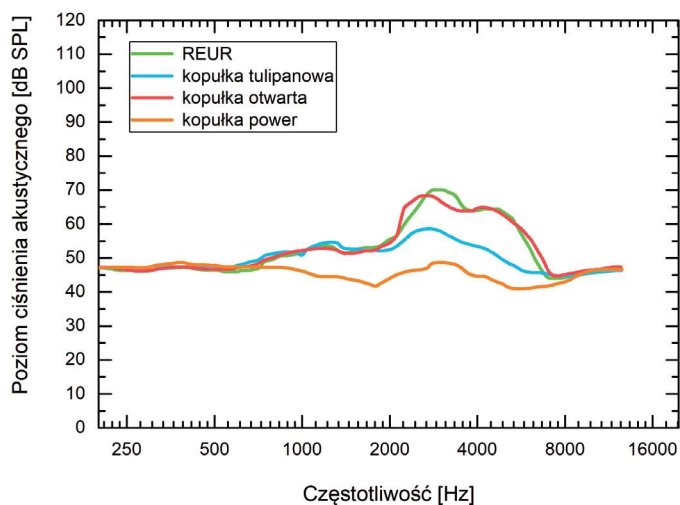
Rys. 1. Przykładowe krzywe pomiaru REM (REUR), przedstawiające różnice w charakterystyce akustycznej ucha dwóch osób różnej płci. Dane do wykresów na podstawie [8]

Największe różnice w REUR występują w zakresie 2 kHz do 4 kHz i są skutkiem różnic anatomicznych w budowie zewnętrznego przewodu słuchowego. Na charakterystykę częstotliwościową poziomu ciśnienia akustycznego mierzonego przed błoną bębenkową ma wpływ także rodzaju zastosowanego dopasowania (otwarte, półotwarte lub zamknięte) oraz rodzaj zastosowanej wkładki.

Ponadto wpływ mają dodatkowe czynniki: kształt słuchawki aparatu słuchowego, w przypadku aparatu słuchowego z słuchawką w przewodzie słuchowym, typu RITE (Receiver In The Ear)/RIC (Reciver In Canal). Włożenie dźwiękowodu do zewnętrznego przewodu słuchowego (w przypadku aparatów słuchowych zausznych typu BTE (behind-the-ear). Zastosowany rodzaj kopolki (silikonowej uniwersalnej wkładki na słuchawce aparatu RITE i RIC). Kształt obudowy aparatów słuchowych wewnętrznych. W zależności od rodzaju zastosowanej wkładki aparatu słuchowego, zamyka ona w większym lub mniejszym stopniu zewnętrzny przewód słuchowy (powoduje różny stopień okluzji). Wpływa to na własności rezonansowe zewnętrznego przewodu słuchowego, więc skutkuje to różnicą w odbiorze dźwięków oraz ma wpływ na rozumieniu mowy u pacjentów [9, 10]. Dlatego dopasowanie aparatów słuchowych jest procesem kilkietapowym co ważniejsze, wymaga weryfikacji dopasowania.

Znacznie dokładniejsze dopasowanie aparatów słuchowych uzyskuje się stosując dodatkowe badanie in-situ, nazywane

pomiarem na uchu rzeczywistym REM (ang. Real-Ear Measurement). REM składa się, między innymi z mikrofonu połączonego cienkim dźwiękowodem (typowo średnicy 1 mm), który wkłada się do zewnętrznego przewodu słuchowego. W ten sposób możliwa jest rejestracja poziomu ciśnienia akustycznego przed błoną bębenkową. Używając jako źródła zewnętrznego dźwięku np. szumu białego, odbierany sygnał poddany analizie widmowej, oraz proces uprzedniej kalibracji, umożliwia rejestrację poziomu natężenia ciśnienia akustycznego przed błoną bębenkową w funkcji częstotliwości.



Rys. 2. Porównanie krzywych pomiaru REM: REUR (krzywa zaznaczona kolorem zielonym) oraz REOR (pozostałe krzywe) dla różnego typu kopolki zastosowanych w przypadku tego samego ucha tej samej osoby [11]

System REM pozwala dostosować ustawienia aparatu słuchowego, tak że uwzględnione zostaną indywidualne właściwości zewnętrznego przewodu słuchowego pacjenta. Przykładowe pomiar na uchu rzeczywistym wykonane u tego samego pacjenta stosując ten sam aparat słuchowego tylko z różnymi typami zastosowanych kopolki przedstawiono na Rys. 2. Kolorem zielonym zaznaczono pomiar ciśnienia akustycznego przed błoną bębenkową bez aparatu słuchowego z otwartym przewodem słuchowym (pomiar REM – REUR). Na rysunku 2 zestawiano także pomiary REM REOR (Real Ear Occluded Response) - poziom ciśnienia akustycznego, w funkcji częstotliwości, w tym samym punkcie w przewodzie słuchowym zewnętrznym, w określonym polu akustycznym – przy założonym, ale wyłączonym aparacie słuchowym. Przedstawione sygnały REOR: dla aparatu słuchowego z kopolką otwartą (krzywa oznaczona kolorem czerwonym), tulipanową (krzywa oznaczona kolorem niebieskim) oraz typu power (krzywa oznaczona kolorem pomarańczowym). Z wykresów przedstawionych na rys. 2 wynika, że dla częstotliwości 2,5 kHz różnice w poziomie natężenia dźwięku przed błoną bębenkową mogą osiągać 15 dB SPL, w zależności od rodzaju zastosowanej kopolki. Przedstawione wykresy mają cel poglądowy. W przypadku wkładek uniwersalnych (kopolki) stosując oprogramowanie dopasowujące producentów aparatów słuchowych, wybiera się rodzaj kopolki podczas obliczania wzmocnienia docelowego. Ponadto, kopolki są dedykowane danym markom

aparatów słuchowych, więc różnicę między typami kopulek są dobrze uwzględniane w oprogramowaniu producenta aparatu słuchowego. Sytuacja jest nieco bardziej skomplikowana w przypadku wkładek indywidualnych. Mimo uwzględnienia średnicy kanałów wentylacyjnych we wkładkach indywidualnych, programy dopasowujące nie mają możliwości uwzględnić długości rzeczywistej wkładki, której długość w mniejszym lub większym stopniu może wpływać na mierzony REOR. Niemniej jednak to różnice anatomiczne zewnętrznego przewodu słuchowego są głównym czynnikiem wpływającym na jakość dopasowania aparatu słuchowego i motywują zastosowanie REM.

Badanie na uchu rzeczywistym, pozwalające między innymi zmierzyć widmo poziomu ciśnienia akustycznego jakie faktycznie dociera do błony bębenkowej pacjenta jest cenną informacją o parametrach akustycznych zewnętrznego przewodu słuchowego, jest używana do wyliczenia wzmocnienia docelowego aparatu słuchowego. W przypadku dopasowania bez użycia metody REM, charakterystyka przewodu słuchowego wyliczana jest w programie dopasowującym tylko na podstawie wzorów analitycznych i ewentualnych poprawek producentów aparatów słuchowych. Obecnie dostarczane przez producentów aparatów słuchowych oprogramowanie, umożliwia pełną automatyzację procesu dopasowania aparatu słuchowego, tak samego pomiaru REM jak i wykorzystania uzyskanych za jego pomocą danych do wyliczenia wzmocnienia docelowego aparatu słuchowego. Dokładniejsze dopasowanie aparatu słuchowego skutkuje poprawą komfortu słyszenia dźwięków u pacjenta. Skraca się czas adaptacji do aparatu słuchowego oraz znacznie poprawia rozumienie mowy.

Liczne badania naukowe potwierdzają skuteczność metody pomiaru REM w dopasowaniu aparatów słuchowych [6, 12–14]. Okazuje się, że bez stosowania procedury REM aparaty słuchowe najczęściej mają ustawione niedostateczne wzmocnienie na co najmniej jednym zakresie częstotliwości [6, 14, 15]. W ten sposób pacjent nie wykorzystuje w pełni potencjału użytkowego zakupionych aparatów słuchowych. Różnica w ustawieniu wzmocnień aparatu względem wartości docelowych często przewyższa 10 dB [6]. Poprawy zrozumienia mowy w takim przypadku nie skompensuje zastosowanie aparatów słuchowych najwyższej klasy technologicznej. W przypadku zastosowania takiego aparatu oczekiwania pacjenta są dużo większe i dopasowanie aparatów słuchowych tylko na bazie informacji zwrotnych od pacjenta jest często niewystarczające. W przypadku aparatu słuchowego z najwyższego przedziału cenowego i nie wystarczająco dokładnie przeprowadzonym dopasowaniu, choćby z braku jego weryfikacji metodą REM, najczęściej mamy odczynienie z rozczarowaniem pacjenta. Stosując pomiar REM, prawdopodobieństwo takiej sytuacji możemy znacznie zminimalizować.

Pacjenci u których był zastosowany pomiar metodą REM, wykazują większe zadowolenie z użytkowania aparatów słuchowych niż pacjenci u których takiego pomiaru nie wykonano [16]. W późniejszym etapie korzystania z aparatów słuchowych pacjenci wykazywali znacznie mniejszą potrzebę kontroli i regulacji aparatów słuchowych [13]. Ponadto, dzięki zastosowaniu badania REM pacjent oszczędza czas potrzebny na dodatkowe dojazdy i dostrojenia aparatów słuchowych.

Pomiar na uchu rzeczywistym jest także bardzo istotny w przypadku terapii szumów usznych metodą TRT (Tinnitus retraining therapy). Pozwala on na poprawne ustalenie poziomu natężenia szumu terapeutycznego jak i jego charakterystyki częstotliwościowej [17].

### 3. Wyniki

Pomiar REM w dopasowaniu aparatów słuchowych na szeroką skalę stosuje się od końca lat 80 ubiegłego wieku. Jest ono obecnie powszechne w gabinetach protetyki słuchu na świecie. W Stanach Zjednoczonych w 2010 roku rutynowe wykorzystanie pomiaru REM zadeklarowano w 40% gabinetów protetyki słuchu [1]. Jest to nadal poziom niedostateczny, mimo że wprowadzono tam zapis w wytycznych dotyczących najlepszych praktyk Amerykańskiej Akademii Audiologii (AAA), mówiący o konieczności weryfikacji każdego dopasowania aparatów słuchowy za pomocą pomiaru REM.

W Polsce niestety pomiar REM jest stosowany jeszcze rzadziej. Sytuacja ta z pewnością jest spowodowana znacznym kosztem systemu do pomiaru REM oraz niewystarczającą edukacją w tej dziedzinie [18].

Na potrzeby niniejszego artykułu zbadaliśmy (autorzy niniejszej publikacji) powszechność stosowania systemów REM w gabinetach protetyki słuchu w Polsce. Wykonaliśmy badania na próbkę którą stanowiły gabinety w województwie mazowieckim. Anonimowe badanie wykonano w lutym 2021 i polegało na zapytaniu o dostępność badania REM w gabinetach protetyki słuchu. Badanie zostało przeprowadzone na grupie 21 firm (razem 108 gabinetów protetyki słuchu). Spośród wszystkich przebadanych, tylko w pięciu firmach zadeklarowano możliwość wykonania takiego badania, co stanowi jedynie 5% z przebadanych gabinetów. Firmy deklarujące możliwość wykonania badania metodą REM, we wszystkich ze zbadanych przypadków, dysponowały urządzeniem pomiarowym tylko w jednym ze swoich gabinetów (dotyczy to także największych firm tzw. sieciowych). Ponadto w przypadku dwóch gabinetów pytanie o pomiar na uchu rzeczywistym zupełnie zaskoczyło protetyka słuchu, który przyznał, że nie służył o tej metodzie.

### 4. Dyskusja

Wyniki przeprowadzonego przez nas badania ukazują skalę problemu jakim jest zbyt niska dostępność wykonania badania REM w gabinetach protetyki słuchu w Polsce. Badanie to nie uwzględniło częstości wykonywania pomiaru REM przy dopasowywaniu aparatów słuchowych przez firmy posiadające aparaturę do pomiarów REM. Biorąc pod uwagę, fakt iż wszystkie zbadane firmy protetyczne posiadają tylko jedno urządzenie do pomiarów REM, więc z pewnością nie jest ono wykonywane w pozostałych gabinetach tych firm. Ponadto z naszego badania wynika, że wciąż istnieje ogromna potrzeba edukacji protetyków słuchu w dziedzinie pomiarów na uchu rzeczywistym.

## 5. Wnioski

Korzyści jakie przynoszą badania REM w trakcie dopasowania aparatów słuchowych jak i jego weryfikacji są niedoceniane w środowisku protetyki słuchu. W pewnej mierze jest to spowodowane stosunkowo dużym kosztem systemu do pomiaru REM. Szczególnie dotyczy to mniejszych firm. Także w obszarze edukacji na temat REM jak i techniki wykonywania pomiarów z pewnością jest dużo do zrobienia.

Pokładamy wielkie nadzieje, że w niedalekiej przyszłości badania na uchu rzeczywistym staną się standardem w pracy protetyka słuchu w Polsce, z czego z pewnością skorzystają osoby z niedosłuchem.

## Bibliografia

1. Mueller H.G., Picou E.M., Survey examines popularity of real-ear probe-microphone measures, *Hear. J.*, 2010, 63, 27-28,30,32
2. Paluch R., Latzel M., Meis M., A new tool for subjective assessment of hearing aid performance: Analyses of Interpersonal Communication, W: Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research, 2015, 453-460
3. Signia Xperience Super Power devices - the true heroes, b.d.
4. Bernafon Oasis NXT | Bernafon fitting software, b.d.
5. Keidser G., Dillon H., Carter L., O'Brien A., NAL-NL2 Empirical Adjustments, *Trends Amplif.*, 2012, 16, 211-223
6. Aarts N.L., Caffee C.S., Manufacturer predicted and measured REAR values in adult hearing aid fitting: Accuracy and clinical usefulness, *Int. J. Audiol.*, 2005, 44, 293-301
7. Ching T.Y.C., Scollie S.D., Dillon H., Seewald R., Britton L., Steinberg J., Prescribed real-ear and achieved real-life differences in children's hearing aids adjusted according to the NAL-NL1 and the DSL v.4.1 prescriptions, *Int. J. Audiol.*, 2010, 49
8. Gołębiewski R., Duraj A., Pomiary na uchu rzeczywistym, w: E.Hojan (pod redakcją), *Protetyka słuchu*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 2017
9. Gazia F., Galletti B., Portelli D., Alberti G., Freni F., Bruno R., i in., Real ear measurement (REM) and auditory performances with open, tulip and double closed dome in patients using hearing aids, *Eur. Arch. Oto-Rhino-Laryngology*, 2020, 277, 1289-1295
10. Winkler A., Latzel M., Holube I., Open Versus Closed Hearing-Aid Fittings: A Literature Review of Both Fitting Approaches, W: *Trends in Hearing*, SAGE Publications Inc., 2016, 1
11. Pumford J., Considerations in Real-Ear Measurement: Points to Ponder, *Can. Audiol.*, 2021, 8, 1
12. Aazh H., Moore B.C.J., The value of routine real ear measurement of the gain of digital hearing aids, *J. Am. Acad. Audiol.*, 2007, 18, 653-664
13. Kochkin S., MarkeTrak VIII: Reducing Patient Visits Through Verification & Validation - Hearing Review, *Hear. Rev.*, 2011, 6, 10-12
14. Hawkins D.B., Cook J.A., Hearing aid software predictive gain values, *Hear. J.*, 2003, 56, 26
15. Jorgensen L.E., Verification and validation of hearing aids: Opportunity not an obstacle, *J. Otol.*, 2016, 11, 57-62
16. Amlani, A., Pumford, J., & Gessling E., Improving Patient Perception of Clinical Services Through Real-ear Measurements, *Hear. Rev.*, 2016, 23, 1
17. Zhang X., Ras Z.W., Jastreboff P.J., Thompson P.L., From Tinnitus data to action rules and Tinnitus treatment, w: Proceedings - 2010 IEEE International Conference on Granular Computing, GrC 2010, 2010, 620-625
18. Gołębiewski R., Pomiary na uchu rzeczywistym, *Biul. Pol. Stowarzyszenia Protet. Słuchu*, 2017, 2, 22-24