

## 5. Wykorzystanie testu MUSHRA w badaniu korzyści użytkowania protez słuchowych

PIOTR SZYMAŃSKI<sup>1</sup>, TOMASZ POREMSKI<sup>2</sup>, BOŻENA KOSTEK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sonova Audiological Care Sp. z o.o.,  
ul. Gabriela Narutowicza 130, 90-146 Łódź

<sup>2</sup> Advanced Bionics Polska,  
Sonova Audiological Care Polska Sp. z o.o.,  
ul. Gabriela Narutowicza 130, 90-146 Łódź

<sup>3</sup> Politechnika Gdańska,  
Wydział Elektroniki i Telekomunikacji,  
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

### 5.1. Wprowadzenie

Ocena jakości dopasowania aparatów słuchowych w kontekście korzyści, jakie może przynieść ta proteza, jest złożonym zagadnieniem. W łatwy sposób można jednak wyznaczyć obiektywne parametry aparatów, m.in. wzmocnienie, zniekształcenia harmoniczne, pasmo przenoszenia. Nie zawsze mają one jednak bezpośredni i decydujący wpływ na subiektywną ocenę przez pacjenta jakości dopasowania protezy słuchowej. Współczesne aparaty słuchowe posiadają szereg zaawansowanych rozwiązań, które ułatwiają i poprawiają (zwłaszcza) rozumienie mowy w różnych trudnych sytuacjach akustycznych, ale ich porównanie lub pomiar nie jest w pełni możliwy.

W większości wymienionych rozwiązań, np. w układach redukcji hałasów, modułach poprawy jakości sygnału mowy, mikrofonach kierunkowych (w tym w układach odpowiadających właściwościom małżowiny usznej), dąży się do poprawy stosunku sygnału do szumu (SNR). Nowoczesny aparat słuchowy ma zapewnić jak najlepsze rozumienie mowy, ale jednocześnie naturalne wrażenia słuchowe w celu zapewnienia komfortu przebywania w różnych sytuacjach akustycznych. Realizację tego założenia umożliwia funkcja automatycznego rozpoznawania warunków akustycznych i adaptacyjny dobór poszczególnych układów oraz regulacja ich nastaw. Teoretycznie zastosowanie wszystkich tych rozwiązań powinno zapewnić poprawę jakości słyszenia i satysfakcję użyt-

kowników aparatów słuchowych. W codziennej praktyce zarówno pacjent, jak i protetyk słuchu muszą jednak dokonywać pewnych wyborów czy iść na kompromis.

Różnorodność rozwiązań technicznych w oferowanych przez producentów aparatach słuchowych sprawia, że są one trudne do porównania i obiektywnej oceny. Wynika to z faktu, że rozwiązania oferowane w aparatach słuchowych, mimo iż są podobne do siebie, to ich jakość i wpływ na poprawę percepcji słuchowej zależą m.in. od indywidualnej konfiguracji oraz pracy algorytmów, które nimi zarządzają. Protetyk słuchu zazwyczaj nie ma pełnego wglądu i dostępu do mechanizmów ich działania. W codziennej praktyce powinien opierać się na wskazaniach producenta, swoim doświadczeniu i informacji zwrotnej od pacjenta. Z kolei pacjent, który podjął decyzję o zakupie aparatu słuchowego, chciałby otrzymać rozwiązanie, które zapewni mu odzyskanie pełnej zdolności słyszenia oraz rozumienia mowy we wszystkich sytuacjach, w których przebywa.

Pomiary efektywności aparatu słuchowego mogą dotyczyć wielu aspektów, m.in. kompensacji niedosłuchu, akceptacji, zysku czy też satysfakcji z protezowania. Ze względu na specyficzny zakres wiedzy najnowsze narzędzia do pomiaru efektywności protezowania dostępne są jedynie dla specjalistów. Stworzenie łatwej w obsłudze i intuicyjnej aplikacji internetowej dałoby taką możliwość zarówno protetykom słuchu, jak i pacjentom. W ten sposób zobiektywizowana ocena efektywności protezowania byłaby pomocna przy wyborze optymalnego rozwiązania poprawiającego słuch oraz w jego precyzyjnym dopasowaniu i regulacji. W późniejszym okresie użytkowania protezy słuchowej aplikacja ta służyłaby do monitorowania postępów w rehabilitacji słuchu. Uzyskiwane wskaźniki mogłyby być wykorzystywane do przewidywania długoterminowych efektów protezowaniu już po krótkim, próbnym okresie użytkowania protez słuchowych.

Rozwijana przez autorów niniejszego rozdziału aplikacja internetowa, jak również prowadzone badania mogą przyczynić się do powstania innowacyjnego narzędzia oceny efektywności dopasowania aparatów słuchowych. Może ono zostać zaimplementowane w dużej liczbie punktów protetycznych oraz udostępnione w odpowiednio przygotowanej formie pacjentom. Dzięki temu pacjenci mogliby dokonywać oceny protezowania nie tylko w punkcie protetycznym, ale również np. w domu lub innym otoczeniu akustycznym, które jest dla nich szczególnie ważne. Wyniki oceny mogłyby zatem służyć jako narzędzie do bardziej zobiektywizowanej oceny słyszenia w aparatach i ułatwić pacjentowi dokonanie wyboru między różnymi dostępnymi rozwiązaniami już po krótkim okresie ich użytkowania (testowania).

## 5.2. Cel badania

Opracowana metoda oceny korzyści użytkowania protez słuchowych powinna:

- poddawać ocenie najbardziej typowe sytuacje akustyczne, z którymi boryka się osoba niedosłysząca w podeszłym wieku;



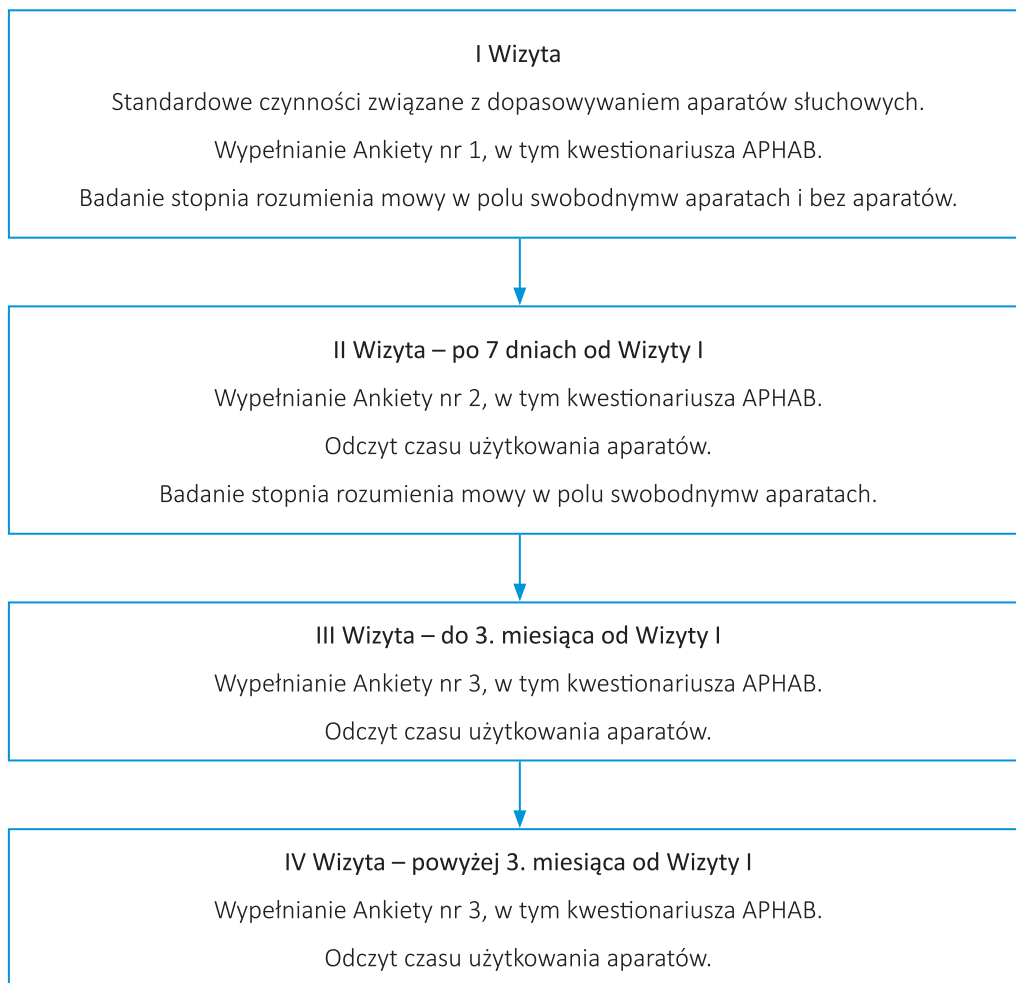
- w ocenie korzyści z użytkowania aparatów uwzględniać: stopień niedosłuchu, doświadczenie pacjenta, rodzaj zastosowanych aparatów;
- poddawać ocenie pozaakustyczne wskaźniki i aspekty użytkowania aparatów słuchowych;
- być łatwa do wdrożenia w punktach protetycznych, wymagać zaangażowania istniejących zasobów personalnych i wykorzystania typowego wyposażenia audiologicznego;
- zostać wdrożona w postaci łatwej do obsługi aplikacji komputerowej.

### 5.3. Opis metody

W celu zebrania danych służących do oceny korzyści z zastosowania aparatów słuchowych przygotowano aplikację internetową, pozwalającą na uporządkowane podejście do zbierania otrzymanych wyników. Aplikacja ta została przygotowana z wykorzystaniem platformy LMS (ang. *Learning Management System*) Moodle [10]. Ponieważ ta platforma e-learningowa powstała na bazie języka skryptowego PHP, jest m.in. wysoce elastyczna i w pełni konfigurowalna. Za jej wykorzystaniem przemawiała również dostępność w punktach protetycznych, znajomość jej obsługi przez potencjalnych użytkowników oraz możliwość wykorzystania zaimplementowanego modułu bazy danych. Zaprojektowany interfejs użytkownika bazy danych ma postać formularza, którego strukturę i formę można modyfikować. Moduł bazy danych pozwala również na konfigurację zakresu eksportowanych danych. Dane można pobrać w dowolnie zdefiniowanym zbiorze pól lub w całości. Eksportu można dokonać w dwóch formatach: CSV lub ODS. Aplikacja zawiera ankiety ściśle związane z kolejnymi wizytami pacjenta. Służą one do porządkowania danych i wskazują, co należy wykonać na kolejnych etapach obsługi użytkownika protezy słuchu, dlatego należy je wypełniać w odpowiedniej kolejności. Na rysunku 5.1 przedstawiono schemat zbierania danych.

Jednym z najważniejszych elementów ankiet jest powszechnie stosowany zamknięty, wypełniany samodzielnie przez pacjenta kwestionariusz oceny korzyści użytkowania aparatów słuchowych APHAB (ang. *Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit*) [4], [7], [16]. Kwestionariusz ten składa się z 24 elementów (stwierdzeń) w czterech podkategoriach (po 6 stwierdzeń na kategorię) dotyczących:

- EC (ang. *Ease of Communication*) – zdolności komunikacji w ciszy, wysiłku związanego z komunikacją w relatywnie łatwych warunkach odsłuchu;
- RV (ang. *Reverberation*) – zdolności komunikacji i rozumienia mowy w warunkach umiarkowanego pogłosu;
- BN (ang. *Background Noise*) – komunikowania się w obecności szumu otoczenia, rozumienia mowy w obecności wielu rozmówców lub innych konkurencyjnych warunkach akustycznych (hałasu środowiskowego);
- AV (ang. *Aversiveness of Sounds*) – stopnia akceptacji nieprzyjemnych dźwięków, negatywnych reakcji na dźwięki środowiskowe [2], [3], [5].



Rys. 5.1. Schemat zbierania danych

Poszczególne punkty oceniane są w skali 7-stopniowej. Każdy stopień skali, od A do G, zawiera opis i związaną z nim wartość procentową (tabela 5.1).

Celem stosowania kwestionariusza APHAB może być:

- przewidywanie prawdopodobnego powodzenia z zastosowania aparatu słuchowego [3] lub alternatywnych urządzeń wspomagających słyszenie [8];
- porównanie funkcjonowania osoby stosującej aparat słuchowy (aparaty słuchowe) z wynikami grupy referencyjnej, używającej z sukcesem aparatów słuchowych [3];
- dokumentacja korzyści z zastosowania aparatów słuchowych w różnych środowiskach w celu poprawy (wyeliminowania) nieskutecznego dopasowania, jak i po-



równania zysku przy zastosowaniu różnych aparatów słuchowych lub różnych programów w danym aparacie słuchowym [3];

- potwierdzenie skuteczności nowych procedur doboru i strojenia aparatów słuchowych czy też innych urządzeń wspomagających słyszenie [12].

Tabela 5.1. Skala kwestionariusza APHAB

A	Zawsze	Always	99%
B	Prawie zawsze	Almost Always	87%
C	Na ogół	Generally	75%
D	Pół-na-pół	Half-the-time	50%
E	Czasami	Occasionally	25%
F	Rzadko	Seldom	12%
G	Nigdy	Never	1%

Korzyść wynikającą z zastosowania aparatu słuchowego można ocenić, analizując średnie wartości procentowe w poszczególnych kategoriach (EC, RV, BN, AV) [3] [5], jak również wartość średnią w kilku kategoriach (ang. *Global Score*). Według Hojana i in. [5] jest to wartość średnia z 4 kategorii, według Jani i in. [6] jest to wartość średnia z kategorii EC, RV, BN. Kwestionariusz ten używany jest w wielu krajach i w różnych wersjach językowych.

Porównując wyniki uzyskane przez autorów w dwóch grupach badanych [11], [15], stwierdzono, że członkowie jednej z grup uzyskali w ogólności lepsze wyniki. Może to wynikać ze skali oceny słyszenia stosowanej w formularzu APHAB, jak również przekroju wiekowego użytkowników protez słuchowych. Połączenie skali literowej, procentowej i opisowej może stanowić trudność w interpretacji dla osób badanych, którymi w przeważającej większości są osoby w podeszłym wieku.

## 5.4. Modyfikacja metody

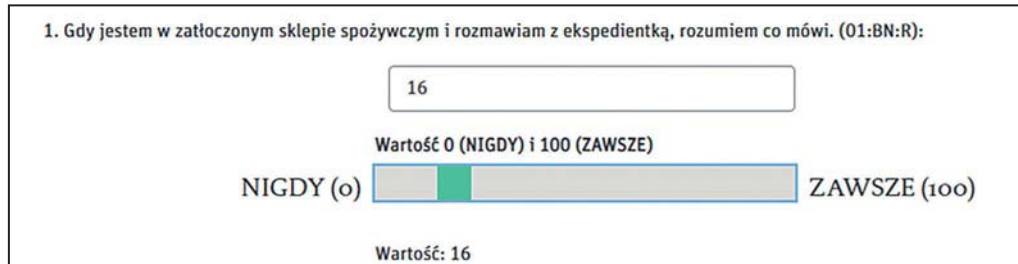
W związku z powyższym została opracowana koncepcja modyfikacji kwestionariusza, tj. przekształcenia skali APHAB na skalę zgodną ze skalą testu MUSHRA (ang. *Multiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor*) [9] przy jednoczesnym wykorzystaniu logiki rozmytej. Test MUSHRA znajduje zastosowanie w ocenie jakości dźwięku aparatów słuchowych zarówno przez osoby z ubytkiem słuchu, jaki i przez osoby z prawidłowym słuchem [1], [17], [13]. Z kolei logika rozmyta znajduje zastosowanie w procedurach regulacji aparatów słuchowych z wykorzystaniem skalowania głośności [14].



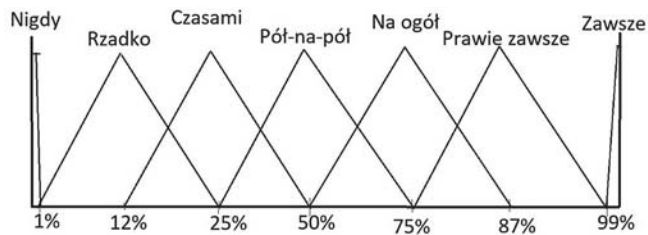
## APHAB

1. * Gdy jestem w zatłoczonym sklepie spożywczym i rozmawiam z ekspedientką, rozumiem co mówi.	<input type="radio"/> Zawsze <input type="radio"/> Prawie zawsze <input type="radio"/> Na ogół <input type="radio"/> Pół-na-pół <input type="radio"/> Czasami <input type="radio"/> Rzadko <input type="radio"/> Nigdy
------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

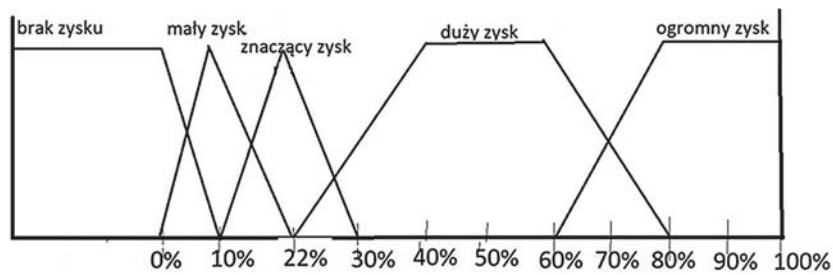
## MUSHRA



Rys. 5.2. Przekształcenie skali APHAB na skalę MUSHRA



Rys. 5.3. Przykładowa funkcja przynależności w kategorii EC



Rys. 5.4. Przykładowa skala zysku w kategorii EC

Zadaniem użytkownika aparatów słuchowych jest ocena słyszenia (jakości dźwięku) bez aparatów i w aparatach według skali 100-punktowej (patrz rys. 5.2) w przykładowej sytuacji w kategorii EC (łatwość komunikacji). W pierwszym kroku przekształcenia zamienia się 7-stopniową skalę zastosowaną w ankiecie APHAB, w której każdemu stopniowi przypisana jest wartość procentowa, np. rzadko – 12% (tj. wartość 0,12), na skalę ciągłą z testu MUSHRA (0–100). W związku z tym na bazie ankiety APHAB została zbudowana funkcja przynależności w poszczególnych kategoriach przez analogię do procentowej skali MUSHRA. W tabeli 5.2 – w przypadku badanego nr 1 i pytania nr 4 – uzyskano oceny według skali APHAB 0,12 (12%), a według skali MUSHRA 0,04 (4%). Następnym krokiem jest rozmycie wartości uzyskanej według skali MUSHRA zgodnie z funkcją przynależności z rys. 5.3.

Kategoria EC, pytanie nr 1: Gdy jestem w zatłoczonym sklepie spożywczym i rozmawiam z ekspedientką, rozumiem co mówi.

Odpowiedzi użytkownika zostaną przypisane do odpowiedniej funkcji przynależności w danej kategorii. Na rysunku 5.3 pokazana jest przykładowa funkcja przynależności w kategorii EC.

Na podstawie oceny użytkownika i z zastosowaniem reguł logiki rozmytej zostanie wyznaczony zysk w określonej kategorii i/lub w kilku kategoriach. Na rysunku 5.4 przedstawiono przykładową skalę zysku w kategorii EC.

## 5.5. Podsumowanie

Należy zauważyć, że uzyskane wyniki i wnioski, które nasuwają się po przeprowadzeniu analiz z wykorzystaniem tego typu metodologii są na wczesnym etapie implementacji ankiety. Obecnie dostępne są jedynie wstępne dane z zastosowania modyfikacji przedstawionej metody. W tabeli 5.2 przedstawiono wyniki oceny rozumienia mowy w kategorii EC: 1 oznacza zawsze, 0 – nigdy.

Pytania/stwierdzenia w kategorii EC (tabela 5.2):

- Nr 4: W domu, gdy jest cicho z trudnością słyszę słowa, które ktoś do mnie mówi.
- Nr 9: Gdy cicho rozmawiam ze swoim lekarzem w jego gabinecie, trudno mi zrozumieć, co do mnie mówi.
- Nr 12: W cichym pomieszczeniu, podczas rozmowy z jedną osobą, muszę prosić rozmówcę o powtarzanie słów.
- Nr 15: Gdy jestem w małym biurze, trudno mi zrozumieć kierowane do mnie pytanie.
- Nr 17: Kiedy rozmawiam z kimś w spokojnym miejscu, trudno mi go zrozumieć.
- Nr 18: Gdy mówca przemawia do niewielkiej grupy osób i wszyscy słuchają w ciszy, ja muszę się wysilić (bardzo uważnie słuchać), by zrozumieć tekst.

Im niższa jest wartość, tym mniejsze są trudności odczuwane w tej kategorii. Zaznaczono największe różnice w wartości średniej w danej kategorii. Różnice te mogą

Tabela 5.2. Wyniki oceny sytuacji w kategorii EC bez aparatów słuchowych (dla czterech badanych)

MUSHRA	Kategoria EC						
Pytanie nr	4	9	12	15	17	18	Wartość średnia w danej kategorii
Badany nr 1	0,04	0,09	0,06	0,02	0	0,17	0,06
Badany nr 2	0,05	0,07	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04
Badany nr 3	0,16	0,1	0,07	0,06	0,17	0,08	0,11
Badany nr 4	0,4	0,5	0,7	0,64	0,3	0,7	0,54
APHAB	Kategoria EC						
Pytanie nr	4	9	12	15	17	18	Wartość średnia w danej kategorii
Badany nr 1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Badany nr 2	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,03
Badany nr 3	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Badany nr 4	0,5	0,5	0,75	0,87	0,75	0,87	0,71

przełożyć się na precyzyjniejsze szacowanie zysku z używania aparatów słuchowych, szczególnie przy zastosowaniu reguł logiki rozmytej.

Średni czas wypełnienia ankiety z zastosowaniem skali MUSHRA był krótszy o 20%, jednak za wcześnie jest wnioskować, czy będzie tak w przypadku wszystkich wypełniających ankietę. Kolejny wniosek dotyczy łatwości udzielania odpowiedzi na pytania – w tym przypadku zdania badanych były podzielone. Dwie osoby oceniły skalę MUSHRA jako łatwiejszą w użyciu, a dwie pozostałe jako trudniejszą. Na tym etapie trudno jest jeszcze wnioskować, czy taki trend utrzyma się przy większej liczbie osób testowanych.

## Bibliografia

- [1] Beck D., Tryanski D., Kai Loong Man B., *Sound Quality and Hearing Aids*, „Hearing Review” 2021, Vol. 28, No. 8, s. 30–31; <https://hearingreview.com/hearing-products/hearing-aids/psap/sound-6> [dostęp: 27.10.2022].
- [2] Briant T.A., *Self-Report Assessment of Hearing Aid Outcome – An Overview*, 2007; <http://www.audiologyonline.com/articles/self-report-assessment-hearing-aid-931> [dostęp: 27.10.2022].
- [3] Cox R.M., Alexander G.C., *The abbreviated profile of hearing aid benefit*, „Ear and Hearing” 1995, Vol. 16, No. 2, s. 176–186.
- [4] Giordano P., Argentero P., Canale A., Lacilla, M. Albera, R., *Evaluation of hearing aid benefit through a new questionnaire: CISQ (Complete Intelligibility Spatiality Quality)*, „Acta otorhinolaryngologica Italica” 2013, Vol. 33, No. 5, s. 329–336.





- [5] Hojan E., *Protetyka słuchu*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2014, s. 715–721.
- [6] Jani A.J., Robyn M.C., Genevieve C.A., *Development of APHAB Norms for WDRC Hearing Aids and Comparisons with Original Norms*, „Ear and Hearing” 2010, Vol. 31, No. 1, s. 47–55.
- [7] Löhler J., Gräbner F., Wollenberg B., Schalltmann P., Schönweiler R., *Sensitivity and specificity of the abbreviated profile of hearing aid benefit (APHAB)*, „European Archives of Oto-Rhino-Laryngology” 2017, Vol. 274, No. 10, s. 3593–3598.
- [8] Maidment D.W., Barker A.B., Xia J., Ferguson M.A., *A systematic review and meta-analysis assessing the effectiveness of alternative listening devices to conventional hearing aids in adults with hearing loss*, „International Journal of Audiology” 2018, Vol. 57, No. 10, s. 721–729.
- [9] ITU-R, *Method for the subjective assessment of intermediate quality level of audio systems*, Recommendation ITU-R BS.1534-3 (10/2015); <https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1534-3-201510-I/en> [dostęp: 27.10.2022].
- [10] *Moodle Open source learning platform*; <https://moodle.org/> [dostęp: 27.10.2022].
- [11] Poremski T., Szymański P., Kostek B., *Assessment of the Effectiveness of a Short-term Hearing Aid Use in Patients with Different Degrees of Hearing Loss*, „Archives of Acoustics” 2019, Vol. 44, No. 4, s. 719–729.
- [12] Sabin A.T., Van Tasell D.J., Rabinowitz B., Dhar S., *Validation of a Self-Fitting Method for Over-the-Counter Hearing Aids*, „Trends in Hearing” 2020, Vol. 24, No. 3, s. 1–19.
- [13] Simonsen C.S., Legarth S.V., *A Procedure for Sound Quality Evaluation of Hearing Aids*, „Hearing Review” 2010, Vol. 25, No. 3, s. 32–37; <https://hearingreview.com/practice-building/practice-management/a-procedure-for-sound-quality-evaluation-of-hearing-aids> [dostęp: 27.10.2022].
- [14] Suchomski P., Kostek B., Czyżewski A., *Hearing aid fitting method based on fuzzy logic processing*, „Archives of Acoustics” 2008, Vol. 33, No. 4, s. 153–158; <https://acoustics.ippt.gov.pl/index.php/aa/article/view/851/730> [dostęp: 27.10.2022].
- [15] Szymański P., Poremski T., Kostek B., *Pursuing Analytically the Influence of Hearing Aid Use on Auditory Perception in Various Acoustic Situations*, „Vibrations in Physical Systems” 2022, Vol. 33, No. 1.
- [16] Turan S., Unsal S., Kurtaran H., *Satisfaction assessment with Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB) questionnaire on people using hearing aid having Real Ear Measurement (REM) eligibility*, „The International Tinnitus Journal” 2019, Vol. 23, No. 2, s. 97–102.
- [17] Völker C., Bisitz T., Huber R., Kollmeier B., Ernst S., *Modifications of the Multi stimulus test with Hidden Reference and Anchor (MUSHRA) for use in audiology*, „International Journal of Audiology” 2018, Vol. 57 (sup3), s. 92–104.

**Słowa kluczowe:** aparaty słuchowe, ubytek słuchu, korzyść z aparatu słuchowego, MUSHRA, APHAB.

## Wykorzystanie testu MUSHRA w badaniu korzyści użytkowania protez słuchowych

Ocena jakości dopasowania aparatów słuchowych w kontekście korzyści, jakie może przynieść tego rodzaju proteza, jest złożonym zagadnieniem. Obiektywne parametry aparatów, które można wyznaczyć (np.



wzmocnienie czy pasmo przenoszenia), nie zawsze mają bezpośredni i decydujący wpływ na subiektywną ocenę jakości dopasowania protezy słuchowej przez pacjenta. Pomiary efektywności aparatu słuchowego mogą dotyczyć wielu aspektów, m.in. kompensacji niedosłuchu, akceptacji, zysku czy też satysfakcji z protezowania. Autorzy przedstawiają modyfikację powszechnie stosowanego kwestionariusza oceny korzyści użytkownika aparatów słuchowych APHAB (ang. *Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit*), polegającą na połączeniu go z testem MUSHRA ang. (*MUltiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor*), który stosowany jest w ocenie jakości dźwięku oraz przekształceniu skali APHAB na 100-punktową skalę MUSHRA za pomocą logiki rozmytej.

## Employing the MUSHRA test in the study of the benefits of using hearing prostheses

Evaluating the quality of hearing aid fitting in terms of the benefits a prosthesis can provide is a complex issue. Objective parameters of hearing aids, such as gain, harmonic distortion, frequency response, etc., can be easily determined; however, they do not always have a direct and decisive influence on the patient's subjective assessment of the quality of the hearing aid fitting. Measurements of hearing aid effectiveness can address many aspects, including hearing loss compensation, acceptance, gain, or satisfaction with the prosthesis.

The authors present a modification of the commonly used hearing aid benefit assessment questionnaire APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit) by combining it with the MUSHRA (MUltiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor) test, which is used to assess the sound quality. In the paper, a concept of modifying the questionnaire was developed, i.e., mapping the 7-point APHAB scale to a 100-point scale consistent with the MUSHRA test scale using fuzzy logic.