

Przegląd aplikacji mobilnych do samodzielnego badania słuchu w języku polskim

Review of mobile apps for self-testing of hearing in Polish language

Małgorzata Pastucha^{1A-F}, Krzysztof Kochanek^{2AD-F}, Edyta Piłka^{1D-F},
Wiesław W. Jędrzejczak^{1AD-F}

¹ Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Zakład Audiologii Eksperymentalnej, Warszawa/Kajetany

² Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Warszawa/Kajetany

Wkład autorów:
A Projekt badania
B Gromadzenie danych
C Analiza danych
D Interpretacja danych
E Przygotowanie pracy
F Przegląd literatury
G Gromadzenie funduszy

Streszczenie

Wprowadzenie: Dynamiczny rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych stanowi ogromny potencjał dla obszaru opieki zdrowotnej. Pozwala on na wdrażanie nowoczesnych rozwiązań, które mogą być pomocne w usprawnianiu usług związanych ze zdrowiem. Należą do nich m.in. aplikacje mobilne, których liczba wzrasta z każdym rokiem. Efektem tego jest szybki rozwój rynku aplikacji, a ich powszechna dostępność sprawia, że już teraz są wykorzystywane m.in. do wstępnej samooceny słuchu, a w przyszłości mogą wspomóc klasyczne badania przesiewowe wykonywane z użyciem specjalnych urządzeń. Celem pracy było zidentyfikowanie dostępnych aplikacji mobilnych w języku polskim umożliwiających wyznaczenie progu słyszenia.

Materiał i metody: Przeglądu dokonano z wykorzystaniem platformy Google Play Store. Do dalszej analizy włączono darmowe aplikacje w języku polskim służące do wyznaczania progu słyszenia.

Wyniki: W wyniku wyszukiwania zidentyfikowano 5 aplikacji spełniających kryteria włączenia, czyli umożliwiających m.in. wykonanie audiometrii tonalnej (AT) w standardowym zakresie częstotliwości (do 8000 Hz). Dodatkowo aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl” pozwala na wyznaczenie progu słyszenia także dla wyższych częstotliwości (10 000–18 000 Hz) oraz na sprawdzenie zrozumiałości mowy w szumie. Żadna ze znalezionych aplikacji nie zawiera funkcjonalności, która umożliwiałaby wykonanie tzw. audiometrii zabawowej, wykorzystywanej do badania słuchu małych dzieci.

Wnioski: Na rynku istnieje kilka aplikacji mobilnych, które mogą służyć do samooceny słuchu. Dużą lukę, zwłaszcza na rynku polskim, stanowi zupełny brak aplikacji mobilnych, dzięki którym możliwe byłoby wyznaczenie progu słyszenia u dzieci za pomocą tzw. audiometrii zabawowej.

Słowa kluczowe: aplikacje mobilne • badanie słuchu • badanie przesiewowe

Abstract

Introduction: The dynamic development of information and communication technologies represents a huge potential in the field of health care. It allows the implementation of modern solutions that can help improve health-related services. These include mobile applications, the number of which is increasing every year. The result has been a huge growth in the app market, and their widespread availability means they can be used for initial self-assessment of hearing, and in the future may support classic screening tests performed on specialized equipment. The purpose of the study was to identify available mobile applications for determining the hearing threshold available in Polish.

Material and methods: The review was conducted using the Google Play Store platform. Free apps in Polish for determining the hearing threshold were included for further analysis.

Results: The search identified 5 apps that met the inclusion criteria. All the apps allowed to perform pure tone audiometry (PTA) in the standard frequency range (up to 8000 Hz). In addition, the “Badanie słuchu e-audiologia.pl” application allows to determine the hearing threshold also for higher frequencies (10 000–18 000 Hz) and to check speech intelligibility in noise. None of the apps found allows for the so-called play audiometry, which is used in the examination of young children.

Autor korespondencyjny: Małgorzata Pastucha, Zakład Audiologii Eksperymentalnej, Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830, Nadarzyn; email: m.pastucha@ifps.org.pl

Conclusions: There are a few mobile apps on the market that can be used for self-assessment of hearing. One area that needs to be further developed – especially in the Polish market – is mobile hearing threshold determination apps created for children.

Key words: mobile applications • hearing test • hearing screening

Wprowadzenie

Zmysł słuchu odgrywa ogromną rolę w życiu człowieka. Umożliwia odbiór dźwięków z otoczenia, określa ich kierunek oraz odległość od źródła. Pozwala zorientować się w otaczającym świecie i przystosować się do niego. Jest zatem cennym źródłem informacji. Pełni podstawową funkcję w procesie komunikacji międzyludzkiej, ułatwia wymianę myśli i nabywanie nowych wiadomości [1,2].

Niestety globalne trendy – stale zwiększające się tempo życia, ciągły hałas komunikacyjny, praca w nieodpowiednich warunkach, głośne słuchanie muzyki [3] – oraz wiele innych czynników ryzyka, takich jak: stosowanie leków ototoksycznych [4], nawracające choroby ucha występowanie określonych chorób, np. cukrzycy [5], powodują, że jesteśmy narażeni na wystąpienie ubytku słuchu na każdym etapie życia, a niedosłuch stopniowo staje się chorobą cywilizacyjną.

Ubytek słuchu prowadzi nie tylko do wystąpienia niekorzystnych zjawisk audiologicznych, np. podwyższenia progu słyszenia, gorszego rozumienia mowy. Do konsekwencji psychospołecznych ubytku słuchu zalicza się m.in. ograniczanie aktywności i izolację społeczną, które to zjawiska skutkują stresem i pogorszeniem jakości życia, a także negatywnie wpływają na niezależność ekonomiczną [6,7]. Niedosłuch może zwiększać stres psychofizyczny i prowadzić do depresji, czego następstwem jest zwiększone przyjmowanie leków przeciwdepresyjnych [8,9]. Wykazano także związek między ubytkiem słuchu a utratą funkcji poznawczych i ośpieniem [6,10].

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) do 2050 roku 1 na 4 osoby będzie cierpieć z powodu ubytku słuchu. To oznacza, że ok. 2,5 mld ludzi na całym świecie będzie potrzebowało pomocy specjalisty [11].

Wczesne rozpoznanie ubytku słuchu jest decydujące w przeciwdziałaniu wyżej wymienionym konsekwencjom zdrowotnym i społecznym. Rozwój nowych technologii, w tym urządzeń mobilnych, oraz powszechny dostęp do Internetu w znaczącym stopniu przyczyniły się do zwiększenia dostępności opieki zdrowotnej. Obecnie coraz więcej pacjentów korzysta z porad teledywnych. W ciągu ostatnich kilkunastu lat wykorzystanie Internetu w celach zdrowotnych w polskiej populacji wzrosło o ok. 25%, a wzrost ten jest zgodny z trendami obserwowanymi w Europie i na świecie [12]. Internet stał się ważnym źródłem informacji o zdrowiu, pozwala na aktywne uczestnictwo w różnego rodzaju forach lub grupach samopomocowych koncentrujących się wokół danego problemu. Przez Internet oferowane są także świadczenia zdrowotne, w ramach których możliwy jest kontakt z wybranym specjalistą bez konieczności wizyty w przychodni, a konsultacja lekarska odbywa się w dogodnym dla pacjenta miejscu i czasie [13]. Współcześnie usługi online związane ze zdrowiem obejmują również dostęp do własnej dokumentacji medycznej, np. poprzez Internetowe Konto

Pacjenta (IKP). Znajdują się tam m.in. informacje dotyczące wystawionych przez lekarza e-recept i e-skierowań.

W obecnych czasach teledywna stała się więc nowym narzędziem powszechnie wykorzystywanym w wielu sektorach zdrowia publicznego, w tym również w dziedzinie audiologii [14]. Usługi teleaudiologiczne obejmują m.in.: badania przesiewowe [15], diagnostykę audiologiczną [16], zdalne dopasowanie implantów ślimakowych [17] i aparatów słuchowych [18], a także rehabilitację słuchową [19].

Współcześnie badania przesiewowe słuchu można wykonać, wykorzystując możliwość automatycznego badania słuchu za pomocą audiometrów komputerowych [20–22], tabletek [23–26] oraz aplikacji mobilnych [27–33]. Wszystkie te systemy różnią się między sobą pod względem m.in. rodzaju zastosowanego testu, rodzaju podawanych bodźców, dostępu do dodatkowych funkcji czy też sposobu przedstawienia wyniku. To powoduje, że wybór odpowiedniego narzędzia może sprawiać trudności.

W literaturze dostępnych jest kilka przeglądów przedstawiających charakterystykę wybranych aplikacji mobilnych. Dotyczą one m.in. aplikacji ogólnie związanych ze zdrowiem [34], aplikacji związanych z otolaryngologią (terapia, diagnostyka, kontakt z pacjentem) [35] oraz aplikacji umożliwiających przeprowadzenie badania audiologicznego [36,37]. Prace te jednak skupiają się na systemach dostępnych w języku angielskim. Aktualnie w polskiej literaturze naukowej nie ma przeglądu, w którym przedstawiono by dostępne aplikacje mobilne w języku polskim przeznaczone do wyznaczania progu słyszenia.

Cel pracy

Celem pracy było zidentyfikowanie dostępnych aplikacji mobilnych w języku polskim umożliwiających wyznaczenie progu słyszenia.

Materiał i metody

W badaniu przeprowadzonym w styczniu 2022 roku wykorzystano platformę Google Play Store celem wyszukania przedmiotowych aplikacji. Do przeglądu włączono darmowe aplikacje w języku polskim umożliwiające wyznaczenie progu słyszenia. Nie nałożono restrykcji dotyczących rodzaju badania.

Do przeszukania platformy użyto następujących terminów: badanie słuchu, słuch, audiometria. Wyniki wyszukiwania zaimportowano do pliku tekstowego i usunięto powtarzające się rekordy. Następnie aplikacje zostały sklasyfikowane na podstawie tytułu i zamieszczonego opisu zgodnie z kryteriami włączenia i wyłączenia. W kolejnym etapie z aplikacji umożliwiających przeprowadzenie badania słuchu (wyznaczenie progu słyszenia) wykluczono aplikacje płatne oraz aplikacje w języku innym niż język polski. Następnie aplikacje zostały pobrane i przetestowane na urządzeniu z systemem Android. Każdą aplikację

przetestowano, wykonując badanie słuchu zgodnie z instrukcją podaną przez jego twórców.

Przyjęto następujące kryteria włączenia aplikacji: możliwość wyznaczenia progu słyszenia, aplikacje darmowe i aplikacje w języku polskim. Natomiast z przeglądu wyłączono aplikacje: niezwiązane z badaniem słuchu (wykorzystywane do: kształcenia muzycznego, terapii szumów usznych, treningów słuchowych, dydaktyki, łączenia telefonu z aparatem słuchowym/ implantem i in.), płatne i aplikacje w języku obcym. Z wyników wyszukiwania usunięto powtarzające się rekordy.

Wyniki

W wyniku wyszukiwania zidentyfikowano 614 aplikacji, z czego do końcowej analizy zakwalifikowano 5 aplikacji spełniających kryteria włączenia. Pełny proces wyszukiwania i selekcji przedstawiono na **rycynie 1**. Aplikacje włączone do dalszej analizy przedstawiono w **tabeli 1**, natomiast ich szczegółowa charakterystyka została przedstawiona w **tabelach 2 i 3**. Na **rycynach 2–8** pokazano

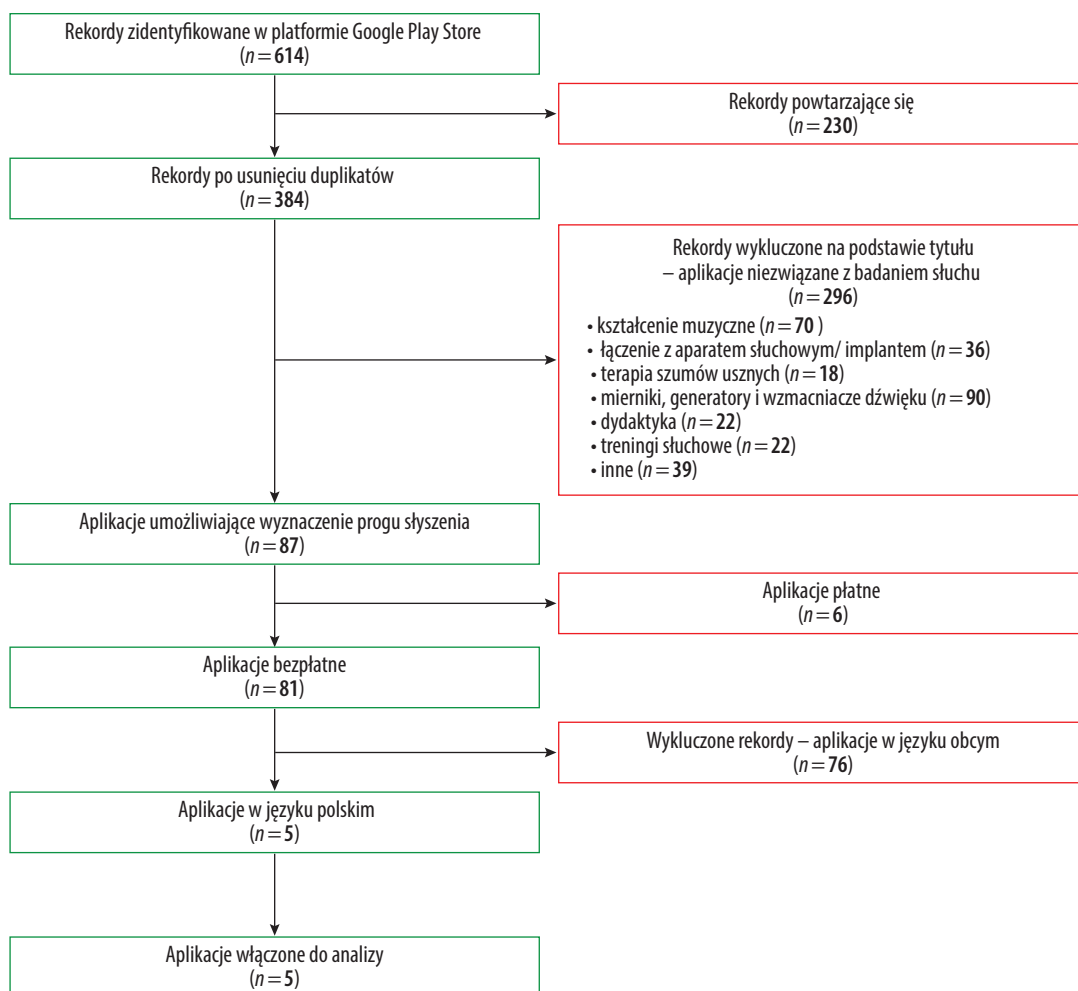
sposób przedstawienia wyników przez każdą z omawianych aplikacji.

Dyskusja

Pomimo ogromnej liczby aplikacji mobilnych pozwalających na przeprowadzenie badania audiometrii tonalnej (wyznaczenie progu słyszenia) tylko niektóre mają polską wersję językową. Aktualnie na platformie Google Play Store znajduje się 5 aplikacji w języku polskim, które scharakteryzowano w niniejszym artykule.

Należy zauważyć, że przedstawione aplikacje różnią się między sobą pod wieloma względami, m.in. datą ostatniej aktualizacji, liczbą pobrań, oceną użytkowników czy też sposobem wykonania badania i przedstawienia otrzymanego wyniku.

Większość z przedstawionych aplikacji została zaktualizowana w ostatnim czasie, najczęściej w 2023 roku (dwie aplikacje: „Audiogram – badanie słuchu”, „Petralex APARAT SŁUCHOWY”). Pozostałe zaktualizowano



Rycina 1. Proces wyszukiwania i selekcji

Figure 1. Search and selection process

Tabela 1. Aplikacje włączone do przeglądu**Table 1.** Applications included in the review

Nazwa aplikacji	Link	Data aktualizacji	Liczba pobrań	Ocena użytkowników [skala 1,0–5,0]
Badanie słuchu e-audiologia.pl	https://play.google.com/store/apps/details?id=mobile.eaudiologia	29.04.2022	1 mln+	4,8
Audiogram – badanie słuchu	https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.pidgey.audiogram	27.01.2023	1 tys. +	5,0
Tester Słuchu	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kkrzyzek.hearingtest	19.05.2018	1 tys. +	3,8
Petralex APARAT SŁUCHOWY	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.it4you.petralex&hl=pl&gl=US	5.07.2023	1 mln +	4,2
Dr Mollin Audiogram	https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.leczenieszumow.audiogram&hl=pl&gl=US	5.02.2021	50 +	–

Tabela 2. Charakterystyka aplikacji włączonych do przeglądu – funkcje podstawowe**Table 2.** Characteristics of the applications included in the review – basic functions

Nazwa aplikacji	Badany zakres częstotliwości	Zakres natężenia [dB HL]	Zakres wartości skoku tłumika	Kalibracja	Maskowanie	Rodzaj badania
Badanie słuchu e-audiologia.pl	125–8000 Hz (co pół oktawy) 8000–18 000 Hz (co ¼ oktawy)	–10–100	–5 dB (domyślnie) –2 dB	obowiązkowa w momencie wykorzystania słuchawek innych niż w zestawie	tak	– oddzielnie dla każdego ucha – obuusznie
Audiogram – badanie słuchu	125–8000 Hz (co pół oktawy, bez 750 Hz)	10–120	10 dB	brak	nie	oddzielnie dla każdego ucha
Tester Słuchu	125–8000 Hz (co oktawę)	15–100	–1 –2 –3 (domyślnie) –5 dB HL	biologiczna przez osobę z normą słuchową dla $f = 1$ kHz, reszta częstotliwości skalibrowana automatycznie na podstawie krzywej korekcyjnej A	nie	oddzielnie dla każdego ucha
Petralex APARAT SŁUCHOWY	125–8000 Hz (co oktawę, dodatkowo 3000 Hz)	10–90	5–10 dB	brak	nie	oddzielnie dla każdego ucha
Dr Mollin Audiogram	250–8000 Hz (co oktawę, dodatkowo 6000 Hz)	0–80	nieznany	ustawienie głośności na maksymalnym poziomie	nie	oddzielnie dla każdego ucha

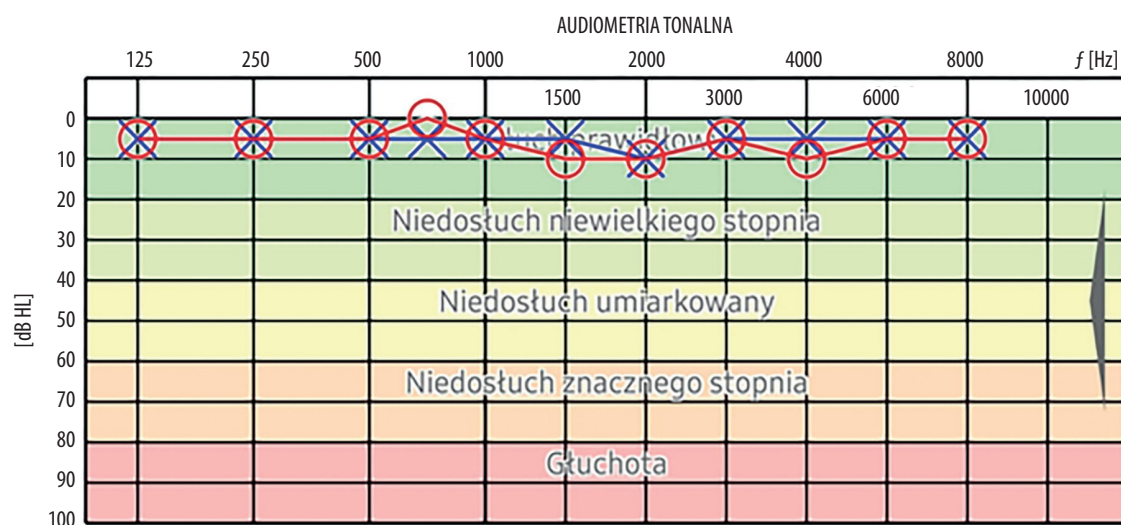
w 2022 roku („Badanie słuchu e-audiologia.pl”) lub w 2021 roku („Dr Mollin Audiogram”). Aktualizacja jednej z aplikacji („Tester Słuchu”) ostatni raz miała miejsce w 2018 roku.

Istnieje spora dysproporcja pomiędzy aplikacjami pod względem liczby pobrań. Jedna z nich została pobrana jedynie ponad 50 razy („Dr Mollin Audiogram”). Jednak są też aplikacje, których liczba pobrań przekracza 1 tys. (dwie aplikacje: „Audiogram – badanie słuchu”, „Tester Słuchu”) lub 1 mln (dwie aplikacje: „Badanie słuchu e-audiologia.pl” i „Petralex APARAT SŁUCHOWY”).

Jeśli chodzi o ocenę aplikacji przez użytkowników, to wszystkie aplikacje oceniano w skali od 1,0 do 5,0. Na pierwszym miejscu znalazła się aplikacja „Audiogram – badanie słuchu” z oceną 5,0. Należy przy tym zaznaczyć, że najlepiej ocenione zostały aplikacje z największą liczbą pobrań. Następne w kolejności znalazły się aplikacje: „Badanie słuchu e-audiologia.pl” – z notą 4,8 oraz „Petralex APARAT SŁUCHOWY” – 4,2. „Tester Słuchu” – z mniejszą liczbą pobrań – uzyskał ocenę 3,8, a „Dr Mollin Audiogram”, który został pobrany mniej niż 1 tys. razy, nie został w ogóle oceniony.

Tabela 3. Charakterystyka aplikacji włączonych do przeglądu – funkcje dodatkowe
Table 3. Characteristics of the applications included in the review – additional functions

Nazwa aplikacji	Dodatkowe funkcje	Monitorowanie tła akustycznego podczas badania	Możliwość zapisania wyników w kolejnych dniach	Sposób prezentacji wyniku	Dodatkowe badania
Badanie słuchu e-audiologia.pl	pomiar czasu trwania badania	tak	tak	audiogram	– test rozumienia cyfr w szumie – audiometria w swobodnym polu akustycznym
Audiogram – badanie słuchu	brak	nie	tak	audiogram + krótka informacja zwrotna	brak
Tester Słuchu	tryb półautomatyczny – automatyczna zmiana częstotliwości	nie	tak	audiogram + krótkie wyjaśnienie jak należy interpretować audiogram podane w instrukcji	brak
Petrex APARAT SŁUCHOWY	wzmocnienie dźwięku	tak	nie	audiogram + krótka informacja zwrotna	brak
Dr Mollin Audiogram	brak	nie	tak	audiogram	brak



Opis: Ucho prawe – czerwone kółko, ucho lewe – niebieski krzyżyk; na osi poziomej przedstawiono zakres częstotliwości, na osi pionowej – poziom dźwięku.

Note: Right ear – red circle, left ear – blue cross; the horizontal axis shows the frequency range, the vertical axis shows the sound level.

Rycina 2. Aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl”: audiometria tonalna – standardowe częstotliwości

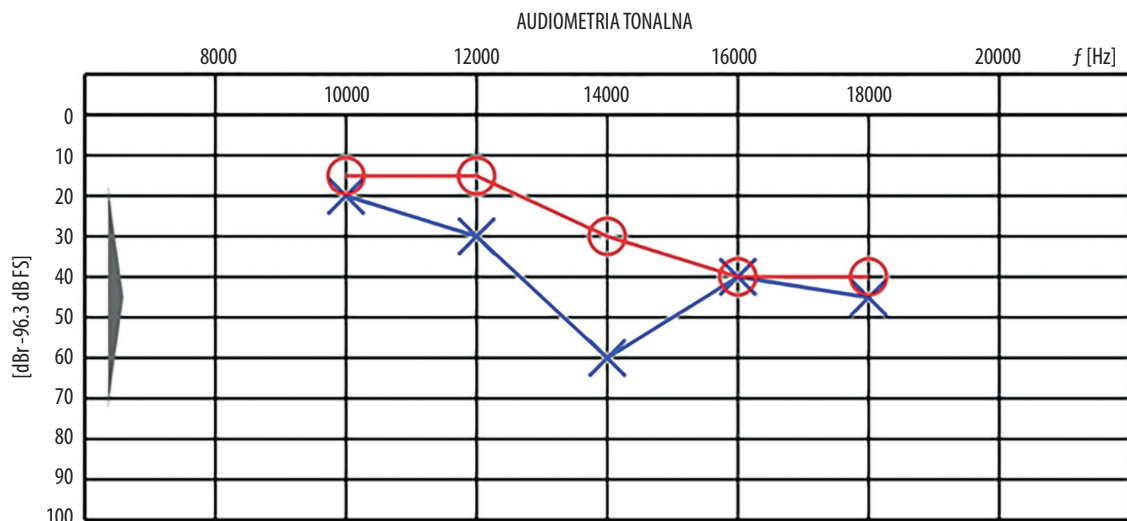
Figure 2. The application “Badanie słuchu e-audiologia.pl”: pure tone audiometry – standard frequencies

Wszystkie włączone do przeglądu aplikacje pozwalały na wykonanie audiometrii tonalnej. W większości badanie to obejmowało standardowo stosowany zakres częstotliwości, tj. 250–8000 Hz. Aczkolwiek jedna aplikacja („Badanie słuchu e-audiologia.pl”) umożliwia również wykonanie badania dla wysokich częstotliwości – z zakresu 10 000–18 000 Hz.

Przedstawione aplikacje różnią się między sobą także w zakresie poziomu podawanego dźwięku. W jednej najcichszy dźwięk, jaki można podać, wynosi –10 dB („Badanie słuchu e-audiologia.pl”). Najgłośniejszy dźwięk odpowiada poziomowi 120 dB („Audiogram – badanie słuchu”). Najczęściej podawane dźwięki mieściły się w zakresie 10–90 dB.

Ustawienie skoku intensywności podawanych bodźców umożliwiają dwie aplikacje: „Badanie słuchu e-audiologia.pl” i „Tester Słuchu”. W pierwszej z nich skok może wynosić 2 lub 5 dB, a w drugiej bodźce mogą być podawane w krokach 1-, 2-, 3- lub 5-decybelowych („Tester Słuchu”).

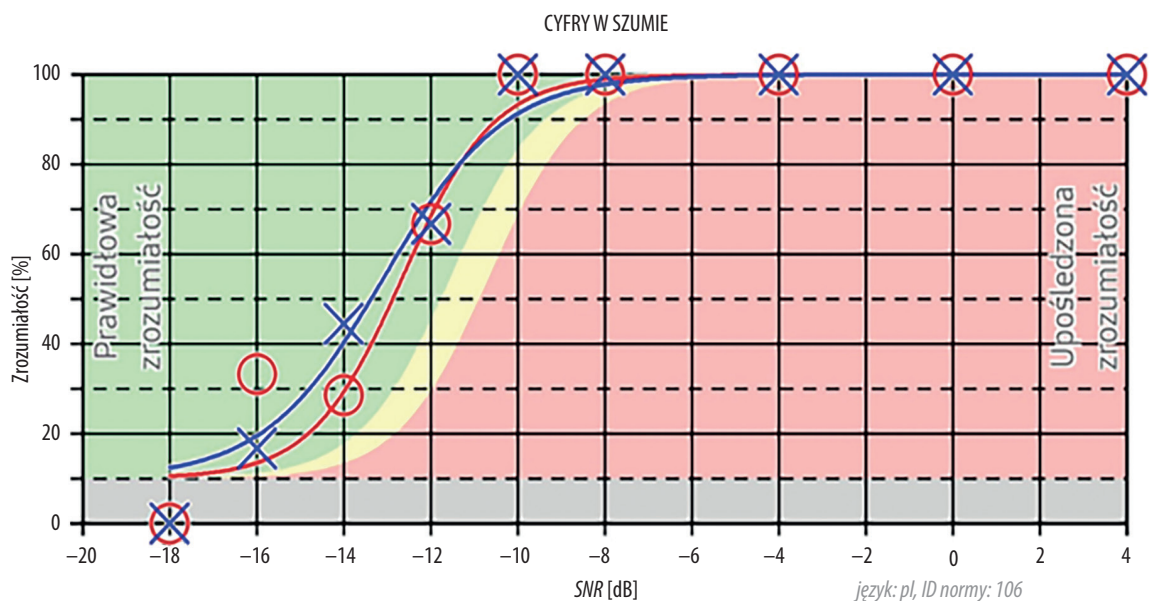
Należy również zauważyć, że istotnym czynnikiem – mającym wpływ na prawidłowy przebieg badania i otrzymanie rzetelnego wyniku – jest prawidłowa kalibracja urządzenia, na którym wykonujemy badanie. W jednej z omawianych aplikacji („Dr Mollin Audiogram”) kalibracji dokonuje się poprzez ustawienie głośności dźwięku na urządzeniu



Opis: Ucho prawe – czerwone kółko, ucho lewe – niebieski krzyżyk; na osi poziomej przedstawiono zakres częstotliwości, na osi pionowej – poziom dźwięku.

Note: Right ear – red circle, left ear – blue cross; the horizontal axis shows the frequency range, the vertical axis shows the sound level.

Rycina 3. Aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl”: audiometria tonalna – wysokie częstotliwości
Figure 3. The application “Badanie słuchu e-audiologia.pl”: pure tone audiometry – high frequencies



Opis: Ucho prawe – czerwone kółko, ucho lewe – niebieski krzyżyk; na osi poziomej przedstawiono poziom SNR, na osi pionowej procent poprawnie zrozumianych elementów.

Note: Right ear – red circle, left ear – blue cross; the horizontal axis shows the SNR level, the vertical axis shows the percentage of correctly understood items.

Rycina 4. Aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl”: cyfry w szumie
Figure 4. The application “Badanie słuchu e-audiologia.pl”: digits in noise

na maksymalnym poziomie głośności. Rozwiązanie to ma jednak pewne mankamenty, ponieważ nie bierze pod uwagę występujących różnic w zmianach skali głośności na różnych urządzeniach mobilnych, a także różnic w przenoszeniu dźwięku przez różne modele słuchawek. Problem ten rozwiązuje kalibracja biologiczna. Wymaga

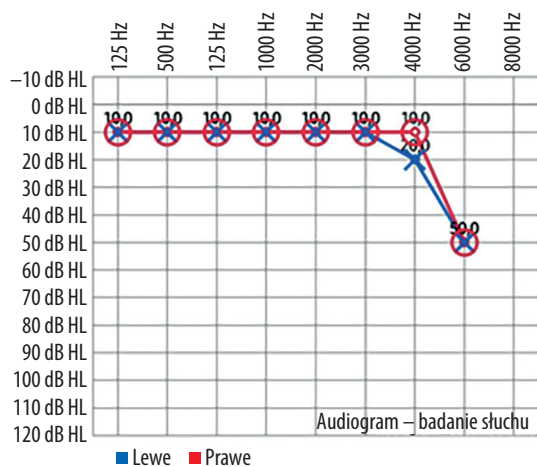
ona jednak obecności dodatkowej – prawidłowo słyszającej – osoby. Kalibrację biologiczną można przeprowadzić na kilka sposobów. W omawianych w niniejszej pracy aplikacjach zastosowano dwie metody kalibracji – kalibrację metodą jednoczęstotliwościową („Tester Słuchu”) oraz kalibrację na podstawie audiometrii Békésy’ego z sygnałem



Brak uszkodzenia słuchu
Brak lub bardzo małe problemy ze słuchem, pełne słyszenie szeptu

Ubytek słuchu wynosi:

- Dla lewego ucha: 10,00 dB HL
- Dla prawego ucha: 10,00 dB HL



Opis: Ucho prawe – czerwone kółko, ucho lewe – niebieski krzyżyk; na osi poziomej przedstawiono zakres częstotliwości, na osi pionowej – poziom dźwięku.

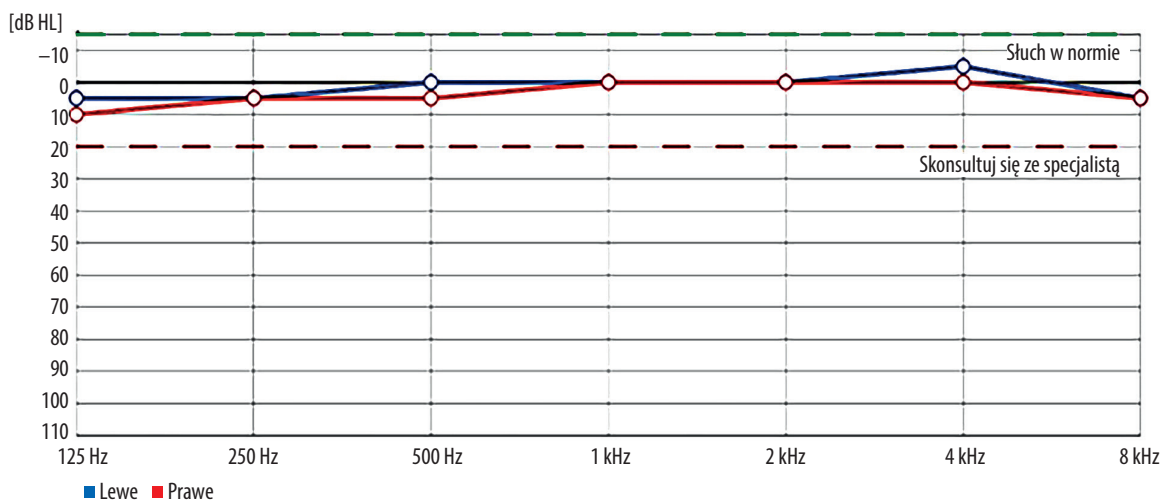
Note: Right ear – red circle, left ear – blue cross; the horizontal axis shows the frequency range, the vertical axis shows the sound level.

Rycina 5. Aplikacja „Audiogram – badanie słuchu”

Figure 5. The application “Audiogram – badanie słuchu”

modulowanym amplitudowo („Badanie słuchu e-audiologia.pl”). Dodatkowo ta ostatnia aplikacja ma jeszcze dwie inne opcje dotyczące kalibracji. Jeśli wykonujemy badanie z użyciem słuchawek dołączonych do zestawu urządzenia, kalibracja nie jest wymagana. Istnieje również możliwość pominięcia kalibracji, jednak przeprowadzone wówczas badanie będzie jedynie demonstracyjne. To ostatnie rozwiązanie zastosowano w dwóch kolejnych aplikacjach („Petralex APARAT SŁUCHOWY” i „Audiogram – badanie słuchu”) – nie oferują one możliwości wykonania kalibracji.

Zaimplementowana w niektórych aplikacjach metoda kalibracji niewątpliwie ma wpływ na dokładność otrzymanego wyniku. W pracach poświęconych dokładności wyznaczania progu słyszenia przez aplikacje mobilne weryfikacji najczęściej poddawano aplikację „Badanie słuchu e-audiologia.pl”. Badania przeprowadzone przez Renda i wsp. [38] pokazują, że bezwzględna różnica między progami słyszenia wyznaczonymi za pomocą aplikacji i audiometru klinicznego jest mniejsza niż 8,8 dB. Wyniki te są zgodne z inną pracą [39], w której różnice dla poszczególnych częstotliwości wahały się od 0,4 dB (8000 Hz) do 4,5 dB (500 Hz), a bezwzględna różnica dla wszystkich częstotliwości nie przekraczała 10 dB. Dodatkowo w jednej z prac [40] czułość i swoistość metody wyniosły odpowiednio 98% i 79%. Dla kolejnej omawianej aplikacji („Tester Słuchu”) średnie różnice oscylowały w granicach 0,6 (8000 Hz) – 12 dB (250 Hz) [39]. Z kolei badania przeprowadzone przez twórcę aplikacji pokazują, że średni błąd pomiaru wynosił 5,2 dB [41]. Dokładność pozostałych aplikacji („Audiogram – badanie słuchu”, „Petralex

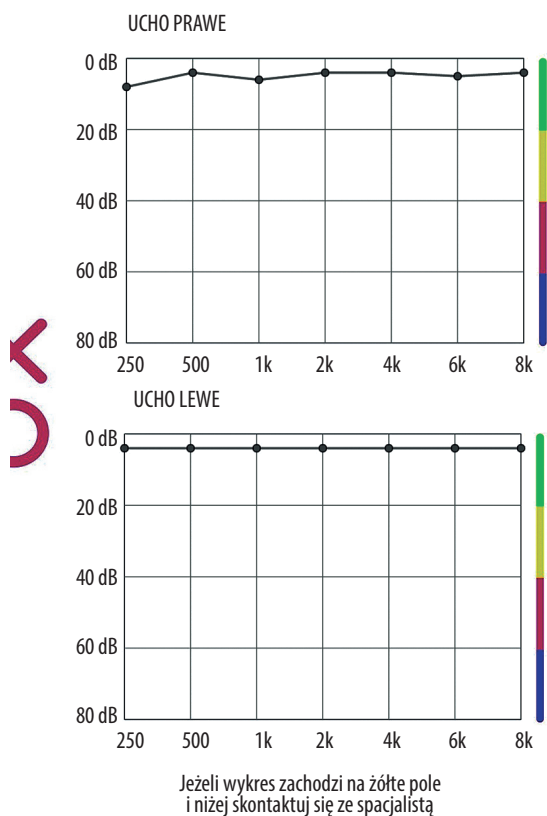


Opis: Ucho prawe – czerwona ciągła linia, ucho lewe – niebieska ciągła linia. Obszar między przerywanymi liniami (zieloną i czerwoną) obejmuje normę słuchową. Na osi poziomej przedstawiono zakres częstotliwości, na osi pionowej poziom dźwięku.

Note: Right ear – red continuous line, left ear – blue continuous line. The area between the dashed lines (green and red) covers the hearing norm. The horizontal axis shows the frequency range, the vertical axis shows the sound level.

Rycina 6. Aplikacja „Tester Słuchu”

Figure 6. The application “Tester Słuchu”



Opis: Progi słyszenia oznaczono szarą linią. Na osi poziomej przedstawiono zakres częstotliwości, na osi pionowej poziom dźwięku. Obszar obejmujący zielone pole wskazuje na normę słuchową.

Note: Hearing thresholds are marked with a gray line. The horizontal axis shows the frequency range, the vertical axis shows the sound level. The area encompassing the green box indicates the hearing norm.

Rycina 7. Aplikacja „Petralex APARAT SŁUCHOWY”
Figure 7. The application “Petralex APARAT SŁUCHOWY”

APARAT SŁUCHOWY”, „Dr Mollin Audiogram”) nie została zweryfikowana.

Niektóre aplikacje mają również dodatkowe funkcje, takie jak m.in. możliwość zamaskowania drugiego ucha („Badanie słuchu e-audiologia.pl”), czy też badanie obu usz („Badanie słuchu e-audiologia.pl”). Dwie aplikacje („Badanie słuchu e-audiologia.pl” i „Petralex APARAT SŁUCHOWY”) umożliwiają także monitorowanie szumu tła podczas badania. Obie te aplikacje sygnalizują, kiedy hałas otoczenia jest zbyt wysoki i jego obecność może prowadzić do otrzymania niemiernodajnych wyników. Ponadto w przypadku czterech aplikacji istnieje możliwość zapisania aktualnie otrzymanego wyniku i porównania go z poprzednimi („Badanie słuchu e-audiologia.pl”, „Audiogram – badanie słuchu”, „Tester Słuchu” i „Dr Mollin Audiogram”).

Wszystkie aplikacje włączone do przeglądu przedstawiają wynik w postaci audiogramu. Dodatkowo aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl” daje możliwość interpretacji audiogramu według: stopnia niedosłuchu, norm wiekowych czy też przedstawienia wyniku w odniesieniu

do zakresu częstotliwości i poziomu dźwięku charakterystycznego dla ludzkiej mowy. W dwóch aplikacjach („Tester Słuchu” i „Dr Mollin Audiogram”) na audiogramie widnieje linia, która informuje do jakiego poziomu słuch pozostaje w normie. Przekroczenie tej linii może świadczyć o problemach ze słuchem i konieczności umówienia się na konsultację u specjalisty. Ponadto dwie aplikacje („Audiogram – badanie słuchu” i „Petralex APARAT SŁUCHOWY”) uzyskany wynik uzupełniają krótką informacją zwrotną oraz wyliczonym stopniem ubytku słuchu.

Możliwość wykonania dodatkowych badań, w tym wypadku badania zrozumiałości mowy, oferuje tylko aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl”. Jako bodźce wykorzystano tu tryplety, czyli trójki cyfrowe na tle szumu. W aplikacji istnieje możliwość wyboru liczby trypletów (od 12 do 28). Aby wykonać badanie, należy ustawić głośność na komfortowym dla osoby badanej poziomie słyszenia. Bodźce podawane są na poziomie SNR (ang. *signal to noise ratio* – stosunek sygnału do szumu) w zakresie od 4 do 20 dB. Wynik prezentowany jest na wykresie za pomocą krzywej. Przedstawia ona procent poprawnie zrozumianych elementów przy określonym poziomie SNR. Żadna z aplikacji włączonych do przeglądu nie testuje zdolności identyfikacji słów w ciszy.

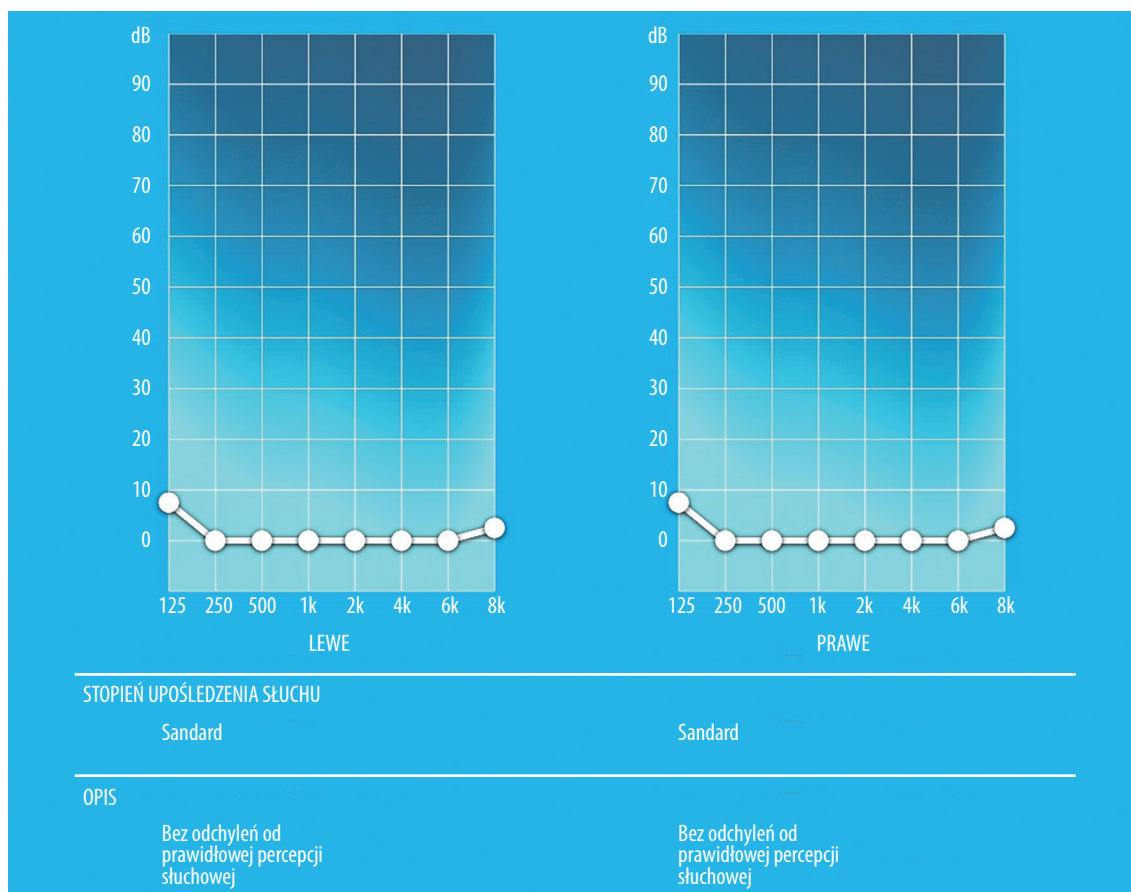
Na platformie Google Play Store nie znaleziono żadnej aplikacji w języku polskim stworzonej specjalnie dla dzieci i pozwalającej na wyznaczenie progu słyszenia. Natomiast jedna spośród zidentyfikowanych w procesie wyszukiwania (aplikacja „hEARo demo for Android”) umożliwia sprawdzenie umiejętności detekcji (wykrywania) dźwięku przez dziecko. Głośność dźwięku w trakcie badania była stała, a jej poziom nie został podany. Wynik przedstawiony jest w postaci uzyskanych punktów, które stanowi liczba wykrytych przez dziecko bodźców dźwiękowych. Nie można jednak za jej pomocą określić progu słyszenia u dziecka.

W zagranicznej literaturze można znaleźć doniesienia o skuteczności stosowania audiometrii zabawowej z wykorzystaniem tabletek czy aplikacji mobilnych w prawidłowym określeniu progu słyszenia u dzieci (np. aplikacja „Kids Hearing Game”). Przeprowadzone badania wykazały dużą czułość i swoistość stosowania tych narzędzi jako metody przesiewowej [25,26,42]. To pokazuje, że istnieje duży potencjał do tworzenia aplikacji dla dzieci. Na rynku polskim istnieje ogromna luka w tym zakresie.

Ograniczenia pracy

Niniejsza praca zawiera szereg ograniczeń. Przede wszystkim skupia się jedynie na przedstawieniu i omówieniu pięciu dostępnych aplikacji (sposób działania, interfejs użytkownika). Nie weryfikuje jednak dokładności progów słyszenia uzyskanych z ich wykorzystaniem.

Niektórzy autorzy [43] podkreślają, że wiele aplikacji powstaje bez współpracy z ekspertami w danej dziedzinie i że aplikacje te nie mają odpowiednich certyfikatów, dlatego nie można ich klasyfikować jako urządzeń medycznych (choćby przesiewowych). Autorzy ci stoją też na stanowisku, że obecnie nie ma jeszcze wystarczających dowodów na to, że aplikacje mobilne będą mogły zastąpić wykonanie



Opis: Progi słyszenia oznaczono białą linią; na osi poziomej przedstawiono zakres częstotliwości, na osi pionowej poziom dźwięku.

Note: Hearing thresholds are marked with a white line; the horizontal axis shows the frequency range, the vertical axis shows the sound level.

Rycina 8. Aplikacja „Dr Mollin Audiogram”

Figure 8. The application „Dr Mollin Audiogram”

badania z wykorzystaniem profesjonalnego urządzenia diagnostycznego.

Kolejnym aspektem mogącym budzić zastrzeżenia jest kwestia bezpieczeństwa i ochrony danych użytkownika. Dlatego też w ostatnich latach powstały regulacje prawne, które określają sposób zarządzania danymi. Należą do nich m.in. ogólne rozporządzenie o ochronie danych osobowych (RODO). Wytyczne dla twórców aplikacji mobilnych w zakresie zbierania i przechowywania danych zawarto także w raporcie opublikowanym przez Agencję Unii Europejskiej ds. Cyberbezpieczeństwa (European Union Agency for Cybersecurity, ENISA) [44].

Wnioski

Niniejszy przegląd pozwolił na sformułowanie kilku wniosków:

1. Na rynku istnieją aplikacje mobilne w języku polskim, które mogą być wykorzystywane do samooceny słuchu, a potencjalnie także do badań przesiewowych słuchu, co będzie wymagało zweryfikowania w dalszych pogłębianych badaniach.
2. Dokładność uzyskanych wyników została zweryfikowana przez innych badaczy jedynie w przypadku dwóch z pięciu omawianych aplikacji („Badanie słuchu e-audiologia.pl” i „Tester Słuchu”).
3. Wśród przedstawionych aplikacji najwięcej dodatkowych funkcji, przydatnych dla użytkownika, posiada aplikacja „Badanie słuchu e-audiologia.pl”.
4. Na rynku polskim brak jest aplikacji mobilnych umożliwiających wyznaczanie progu słyszenia u dzieci (mobilnej audiometrii zabawowej).

Piśmiennictwo

1. Szczepankowski B, Niesłyszący. Głusi. Głuchoniemi. Wyrównywanie szans. Warszawa: WSiP; 1999.
2. Hoffman B. Upośledzenie słuchu a egzystencja w społeczeństwie. W: Poradnik dla protetyków słuchu. Latkowski B (red.). Łódź: Geers Akustyka Słuchu; 2002.
3. Śliwińska-Kowalska M. Patofizjologia uszkodzeń słuchu spowodowanych hałasem. W: Audiologia kliniczna. Śliwińska-Kowalska M (red.). Łódź: Mediton; 2005.
4. Pośpiech L, Dziewiszek W, Bochnia M. Ototosyczość substancji chemicznych i leków. W: Audiologia kliniczna. Śliwińska-Kowalska M (red.). Łódź: Mediton; 2005.
5. Narozny W. Miejsce otologa w opiece nad dzieckiem z cukrzycą insulinozależną. Otorinolaryngologia, 2017; 16(2): 47–52.
6. Arlinger S. Negative consequences of uncorrected hearing loss: a review. Int J Audiol, 2003; 42(2): 2S17–2S20.
7. Olusanya BO, Neumann KJ, Saunders JE. The global burden of disabling hearing impairment: a call to action. Bull World Health Organ, 2014; 92(5): 367–73; <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128728>.
8. Golub JS, Brewster KK, Brickman AM, Ciarleglio AJ, Kim AH, Luchsinger JA, i wsp. Association of audiometric age-related hearing loss with depressive symptoms among Hispanic individuals. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg, 2019; 145(2): 132–9; <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2018.3270>.
9. Bigelow RT, Reed NS, Brewster KK, Huang A, Rebok G, Rutherford BR, i wsp. Association of hearing loss with psychological distress and utilization of mental health services among adults in the United States. JAMA Netw Open, 2020; 3(7): e2010986; <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.10986>.
10. Golub JS. Brain changes associated with age-related hearing loss. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg, 2017; 25(5): 347–52; <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000387>.
11. World Health Organization. World Report on Hearing. Geneva: World Health Organization; 2021.
12. Bujnowska-Fedak MM. Trends in the use of the Internet for health purposes in Poland. BMC Public Health, 2015; 15: 194; <https://doi.org/10.1186/s12889-015-1473-3>.
13. Vukovic V, Favaretti C, Ricciardi W, de Waure C. Health technology assessment evidence on e-health/m-health technologies: evaluating the transparency and thoroughness. Int J Technol Assess Health Care, 2018; 34(1): 87–96; <https://doi.org/10.1017/S0266462317004512>.
14. Krupinski EA. Innovations and possibilities in connected health. J Am Acad Audiol, 2015; 26(9): 761–7; <https://doi.org/10.3766/jaaa.14047>.
15. Skarżyński PH, Świerniak W, Piłka A, Skarżyńska MB, Włodarczyk AW, Kholmato D. A Hearing screening program for children in primary schools in Tajikistan: a telemedicine model. Med Sci Monit, 2016; 22: 2424–30; <https://doi.org/10.12659/msm.895967>.
16. Hayes D, Eclavea E, Dreith S, Habte B. From Colorado to Guam: infant diagnostic audiological evaluations by telepractice. Volta Rev, 2012; 112: 243–53; <https://doi.org/10.17955/tvr.112.3.m.712>.
17. Wąsowski A, Skarżyński H, Lorens A, Obrycka A, Walkowiak A, Skarżyński P i wsp. The telefitting method used in the national network of teleaudiology: assessment of quality and cost effectiveness. J Hear Sci 2012; 2: 81–5; <https://doi.org/10.17430/882767>.
18. Campos PD, Ferrari DV. Teleaudiology: evaluation of teleconsultation efficacy for hearing aid fitting. J Soc Bras Fonoaudiol. 2012; 24(4): 301–8; <https://doi.org/10.1590/s2179-64912012000400003>.
19. Pankowska A, Rostkowska J, Skarżyński H. Telerehabilitacja dorosłych pacjentów korzystających z aparatów słuchowych i/lub implantów ślimakowych. Now Audiofonol, 2015; 4(2): 81–5; <https://doi.org/10.17431/894420>.
20. Margolis RH, Killion MC, Bratt GW, Saly GL. Validation of the Home Hearing Test™. J Am Acad Audiol, 2016; 27(5): 416–20; <https://doi.org/10.3766/jaaa.15102>.
21. Masalski M, Kręcicki T. Self-test web-based pure-tone audiometry: validity evaluation and measurement error analysis. J Med Internet Res, 2013; 15(4): e71; <https://doi.org/10.2196/jmir.2222>.
22. McPherson B, Law MM, Wong MS. Hearing screening for school children: comparison of low-cost, computer-based and conventional audiometry. Child Care Health Dev, 2010; 36(3): 323–31; <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2010.01079.x>.
23. Kelly EA, Stadler ME, Nelson S, Runge CL, Friedland DR. Tablet-based Screening for Hearing Loss: Feasibility of Testing in Nonspecialty Locations. Otol Neurotol, 2018; 39(4): 410–16; <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001752>.
24. Pereira O, Pasko LE, Supinski J, Hammond M, Morlet T, Nagao K. Is there a clinical application for tablet-based automated audiometry in children? Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2018; 110: 87–92; <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.04.029>.
25. Yeung J, Javidnia H, Heley S, Beauregard Y, Champagne S, Bromwich M. The new age of play audiometry: prospective validation testing of an iPad-based play audiometer. J Otolaryngol Head Neck Surg, 2013; 42(1): 21; <https://doi.org/10.1186/1916-0216-42-21>.
26. Yeung JC, Heley S, Beauregard Y, Champagne S, Bromwich MA. Self-administered hearing loss screening using an interactive, tablet play audiometer with ear bud headphones. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2015; 79(8): 1248–52; <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.05.021>.
27. Abu-Ghanem S, Handzel O, Ness L, Ben-Artzi-Blima M, Fait-Ghelbendorf K, Himmelfarb M. Smartphone-based audiometric test for screening hearing loss in the elderly. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2016; 273(2): 333–9; <https://doi.org/10.1007/s00405-015-3533-9>.
28. Bauer MA, Sales A, Teixeira AR, Morsch P, Lessa AH, Bós ÂJG. Development and accuracy of a hearing screening application. Braz J Otorhinolaryngol, 2021; 87(6): 711–7; <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2020.03.009>.
29. Derin S, Cam OH, Beydilli H, Acar E, Elicora SS, Sahan M. Initial assessment of hearing loss using a mobile application for audiological evaluation. J Laryngol Otol, 2016; 130(3): 248–51; <https://doi.org/10.1017/S0022215116000062>.
30. Yousuf Hussein S, Wet Swanepoel D, Biagio de Jager L, Myburgh HC, Eikelboom RH, Hugo J. Smartphone hearing screening in mHealth assisted community-based primary care. J Telemed Telecare. 2016; 22(7): 405–12; <https://doi.org/10.1177/1357633X15610721>.
31. Louw C, Swanepoel W, Eikelboom RH, Myburgh HC. Smartphone-based hearing screening at primary health care clinics. Ear Hear. 2017; 38(2): e93–e100; <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000378>.

32. Al-Abri R, Al-Balushi M, Koletheekkat A, Bhargava D, Al-Alwi A, Al-Bahlani H i wsp. The accuracy of IOS device-based uHear as a screening tool for hearing loss: a preliminary study from the Middle East. *Oman Med J*, 2016; 31(2): 142–5; <https://doi.org/10.5001/omj.2016.27>.
33. Szudek J, Ostevik A, Dziegielewski P, Robinson-Anagor J, Gomaa N, Hodgetts B i wsp. Can Uhear me now? Validation of an iPod-based hearing loss screening test. *J Otolaryngol Head Neck Surg*, 2012; 41(1): S78–S84.
34. Martínez-Pérez B, de la Torre-Díez I, López-Coronado M. Mobile health applications for the most prevalent conditions by the World Health Organization: review and analysis. *J Med Internet Res*, 2013; 15(6): e120; <https://doi.org/10.2196/jmir.2600>.
35. Casale M, Costantino A, Rinaldi V, Forte A, Grimaldi M, Sabatino L i wsp. Mobile applications in otolaryngology for patients: an update. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*, 2018; 3(6): 434–8; <https://doi.org/10.1002/lio2.201>.
36. Bright T, Pallawela D. Validated smartphone-based apps for ear and hearing assessments: a review. *JMIR Rehabil Assist Technol*, 2016; 3(2): e13; <https://doi.org/10.2196/rehab.6074>.
37. Irace AL, Sharma RK, Reed NS, Golub JS. Smartphone-based applications to detect hearing loss: a review of current technology. *J Am Geriatr Soc*, 2021; 69(2): 307–16; <https://doi.org/10.1111/jgs.16985>.
38. Renda L, Selçuk ÖT, Eyigör H, Osma Ü, Yılmaz MD. Smartphone based audiometric test for confirming the level of hearing: is it useable in underserved areas? *J Int Adv Otol*, 2016; 12(1): 61–6; <https://doi.org/10.5152/iao.2016.1421>.
39. Zdanowicz R, Kochanek K, Czajka N, Skarżyński PH. Porównanie progów słyszenia wyznaczonych za pomocą różnych aplikacji na telefony komórkowe. *Now Audiofonol*, 2022; 11(2): 55–61; <https://doi.org/10.17431/11.2.3>.
40. Masalski M, Grysiński T, Kręcicki T. Hearing tests based on biologically calibrated mobile devices: comparison with pure-tone audiometry. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*, 2018; 6(1): e10; <https://doi.org/10.2196/mhealth.7800>.
41. Krzyżek K, Klaczynski M. Hearing tester – mobile application for hearing loss screening. *Diagnostyka*, 2019; 20(3): 87–95; <https://doi.org/10.29354/diag/110009>.
42. Chu YC, Cheng YF, Lai YH, et al. A mobile phone-based approach for hearing screening of school-age children: cross-sectional validation study. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019; 7(4): e12033; <https://doi.org/10.2196/12033>.
43. Kozak J, Goral A, Daniol M. Mobilne aplikacje medyczne – zastosowania, ograniczenia i uwarunkowania dalszego rozwoju. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna*, 2018; 24(2): 111–22.
44. European Union Agency for Network and Information Security (ENISA). Privacy and data protection in mobile applications. A study on the app development ecosystem and the technical implementation of GDPR. November 2017.