

Pomiary właściwości akustycznych wkładek usznych

The measurements of the acoustic properties of earmoulds

Roman Gołębiowski¹, Artur Duraj, Andrzej Wicher,
Karina Mrugalska-Handke

Katedra Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2, 61 – 614 Poznań

STRESZCZENIE

Głównym celem pracy było określenie wpływu rodzaju wkładek usznych na charakterystyki częstotliwościowe dźwięku przetwarzanego przez aparat słuchowy. Wkładki uszne pełnią bardzo ważną rolę na drodze propagacji dźwięku wygenerowanego przez słuchawkę aparatu słuchowego. Poprzez odpowiednie kształtowanie otworu wentylacyjnego, dźwiękowodu oraz długości wkładki usznej – możemy wpływać na charakterystykę częstotliwościową w istotnym stopniu. Pomiary wykonano z wykorzystaniem najnowocześniejszej wersji modelu sztucznej głowy z torsesem typu Brüel&Kjær 5128.

Słowa kluczowe: wkładka uszna, charakterystyka częstotliwościowa

ABSTRACT

The main aim of the study was to determine the influence of the type of earmoulds on the frequency characteristics of the sound processed by the hearing aid. The earmoulds play a very important role in the propagation of the sound generated by the receiver of the hearing aid. By appropriately shaping the vent, sound tube and the length of the earmoulds - we can significantly affect the frequency response. Measurements were made using the most modern version of the artificial head and torso model Brüel & Kjær 5128.

Key words: earmold, frequency characteristic

1. Wprowadzenie

Wkładka uszna, ma bardzo duży wpływ na charakterystykę częstotliwościową aparatu słuchowego, rejestrowaną wewnątrz zewnętrznego przewodu słuchowego.

Wkładka uszna jest elementem wykonywanym indywidualnie na podstawie pobranego wycisku ucha. Głównym zadaniem wkładki jest połączenie, za pomocą specjalnego wężyka, aparatu słuchowego zausznego (BTE, ang. Behind the Ear) oraz zapewnienie transmisji dźwięku wygenerowanego przez słuchawkę aparatu słuchowego bezpośrednio do zewnętrznego przewodu słuchowego osoby niedosłyszącej. Dobierając odpowiednio parametry wkładki usznej oraz wężyka można wpływać w istotnym stopniu na charakterystykę częstotliwościową dźwięku przetworzonego przez aparat słuchowy. Charakterystykę częstotliwościową można modyfikować poprzez wprowadzanie zmian w następujących parametrach wkładki: długość trzpienia wkładki, szerokość i kształt otworu wentylacyjnego, szerokość i kształt dźwiękowodu.

Wkładka uszna musi być bardzo precyzyjnie wykonana i dopasowana, aby zapobiec powstawaniu efektu sprzężenia zwrotnego (odpowiednia szczelność układu oraz odpowiednie parametry otworu wentylacyjnego). Ponadto wkładka musi być tak wykonana, aby osoba niedosłysząca nie odczuła fizycznego dyskomfortu, w wyniku ucisku wkładki na ścianki zewnętrznego przewodu słuchowego.

Niezwykle istotnym problemem dla osób niedosłyszących jest efekt okluzji, czyli tzw. efekt zatkanego ucha. Powstaje on wtedy, gdy zewnętrzny przewód słuchowy jest zamknięty, np. szczelną wkładką uszną. Aby temu zapobiec wykonuje się otwór wentylacyjny, co jednak zwiększa prawdopodobieństwo powstania sprzężenia zwrotnego.

2. Wpływ wkładki na charakterystykę częstotliwościową

Jak napisano w rozdziale 1, zadaniem wkładki usznej jest przede wszystkim zamontowanie zausznego aparatu słuchowego, trans-

¹ e-mail: roman.golebiowski@amu.edu.pl

misję sygnału dźwiękowego do zewnętrznego przewodu słuchowego oraz zapobieganie powstawaniu sprzężenia zwrotnego. Poprzez odpowiedni wybór parametrów wkładki usznej można również wpływać na charakterystykę częstotliwościową – praktycznie w całym zakresie częstotliwości. Charakterystykę częstotliwościową dźwięku przetwarzanego przez aparat słuchowy możemy kształtować poprzez zmianę średnicy otworu wentylacyjnego, zmianą długości i kształtu dźwiękowodu oraz zmianą długości trzpienia wkładki. Dodatkowo, w celu korekcji charakterystyki częstotliwościowej, można stosować specjalne filtry słuchowe.

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono pomiary akustyczne dla wkładek o różnych parametrach. Jest wiele prac prezentujących wyniki badań z tej tematyki, m. in. [1, 2].

3. Badane wkładki

Badania wykonano dla 21 wkładek o różnych parametrach:

1. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie.
2. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 0.8 mm).
3. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 1.0 mm).
4. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 1.2 mm).
5. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 1.4 mm).
6. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 1.6 mm).
7. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 2.0 mm).
8. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja Y (otwór wentylacyjny na wysokości pierwszego zakrętu wchodzi w dźwiękowód) (średnica wentylacji 0.8 mm).
9. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja Y (otwór wentylacyjny na wysokości pierwszego zakrętu wchodzi w dźwiękowód) (średnica wentylacji 1.0 mm).
10. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja Y (otwór wentylacyjny na wysokości pierwszego zakrętu wchodzi w dźwiękowód) (średnica wentylacji 1.2 mm).
11. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja Y (otwór wentylacyjny na wysokości pierwszego zakrętu wchodzi w dźwiękowód) (średnica wentylacji 1.4 mm).
12. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, krótka wentylacja równoległa (wkładka wydrążona w trzpieniu od skrawka do pierwszego zakrętu) (średnica wentylacji 0.8 mm).
13. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, krótka wentylacja równoległa (wkładka wydrążona w trzpieniu od skrawka do pierwszego zakrętu) (średnica wentylacji 1.0 mm).
14. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, krótka wentylacja równoległa (wkładka wydrążona w trzpieniu od skrawka do pierwszego zakrętu) (średnica wentylacji 1.2 mm).
15. Wkładka pełna, standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, krótka wentylacja równoległa (wkładka wydrążona w trzpieniu od skrawka do pierwszego zakrętu) (średnica wentylacji 1.4 mm).
16. Wkładka pełna, otwarta (otwór wentylacyjny powyżej 2.5 mm), standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie.
17. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), dźwiękowód - kolanko z tworzywa sztucznego (kolanko o wymiarach 1.5 x 2.5 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie.
18. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), dźwiękowód - wężyk Libby o średnicy 3 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie.
19. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), dźwiękowód - wężyk Libby o średnicy 4 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie.
20. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), długi trzpień (trzpień przycięty 2 - 3 mm za drugim zakrętem).
21. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), standardowy dźwiękowód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), krótki trzpień (trzpień przycięty 2 - 3 mm przed drugim zakrętem).

Poniżej, na Fot. 1-8 przedstawiono zdjęcia kilku wybranych wkładek usznych, dla których wykonywano pomiary akustyczne.



Fot. 1. Zdjęcie wkładki zamkniętej



Fot. 4. Wkładka pełna, standardowy dźwiękówód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, krótka wentylacja równoległa (wkładka wydrążona w trzpieniu od skrawka do pierwszego zakrętu) (średnica wentylacji 1.0 mm)



Fot. 2. Wkładka pełna, standardowy dźwiękówód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja równoległa (średnica wentylacji 1.6 mm)



Fot. 5. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), dźwiękówód – – wężyk Libby o średnicy 3 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie



Fot. 3. Wkładka pełna, standardowy dźwiękówód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie, wentylacja Y (otwór wentylacyjny na wysokości pierwszego zakrętu wchodzi w dźwiękówód) (średnica wentylacji 1.4 mm)



Fot. 6. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), standardowy dźwiękówód (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), krótki trzpień (trzpień przycięty 2 - 3 mm przed drugim zakrętem)



Fot. 7. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), standardowy dźwiękowied (wężyk silikonowy o wymiarach 2.0 x 3.0 mm), długi trzpień (trzpień przycięty 2 - 3 mm za drugim zakrętem). Zdjęcie wkładki usznej



Fot. 8. Wkładka pełna, zamknięta (bez wentylacji), dźwiękowied - kolanko z tworzywa sztucznego (kolanko o wymiarach 1.5x2.5 mm), trzpień przycięty na drugim zakręcie

4. Procedura pomiarowa

W pomiarach wykorzystano następującą aparaturę pomiarową:

- High-frequency Head and Torso Simulator Brüel&Kjær Type 5128;
- Active Loudspeaker QSC type K10;
- System Pulse v. 12.6.0.255;
- Sound level meter Svantek type SVAN 945A;

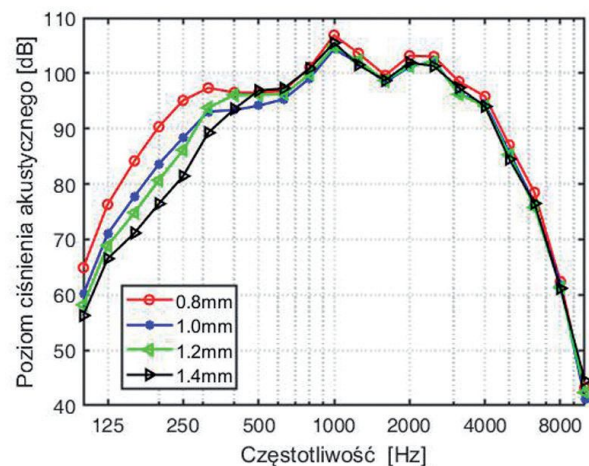
Należy podkreślić, że zastosowany w pomiarach układ głowy i torsu (High-frequency Head and Torso Simulator Brüel&Kjær Type 5128) (Fot. 9) jest obecnie najlepszą dostępną aparaturą pomiarową. Sztuczna głowa posiada w pełni, idealnie odwzorowane zewnętrzne przewody słuchowe. To daje gwarancję najbardziej dokładnych pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego wewnątrz przewodu słuchowego.



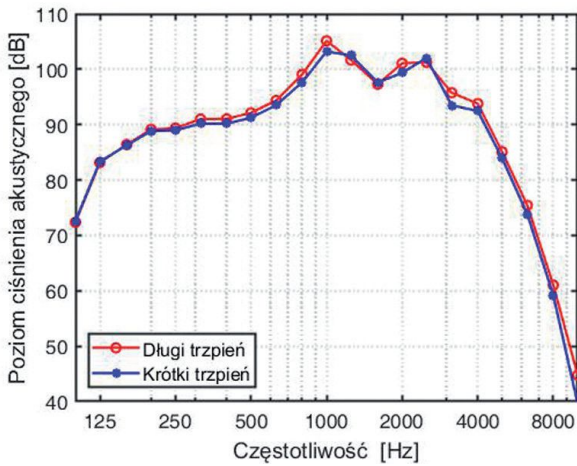
Fot. 9. Układ pomiarowy wykorzystany w pomiarach akustycznych (High-frequency Head and Torso Simulator Brüel&Kjær Type 5128)

5. Wyniki pomiarów

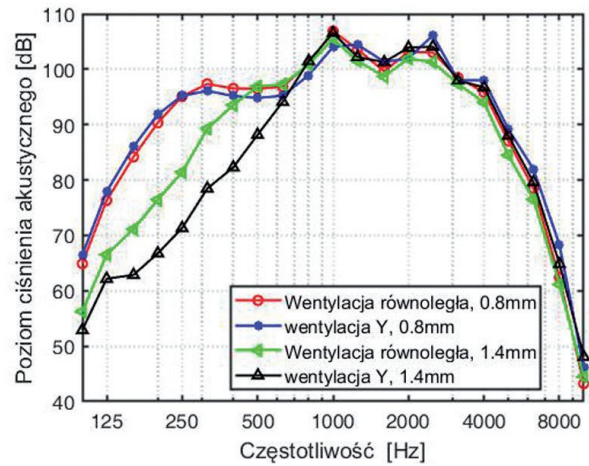
Poniżej na Rysunkach 1-7 przedstawiono wyniki przeprowadzonych pomiarów akustycznych.



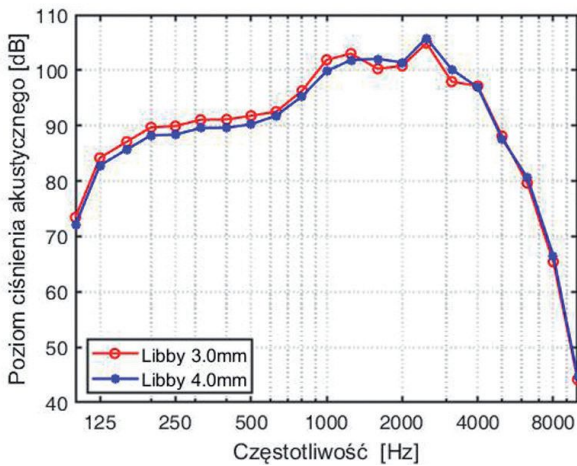
Rys. 1. Poziom ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki o krótkiej wentylacji o różnych średnicach otworu wentylacyjnego



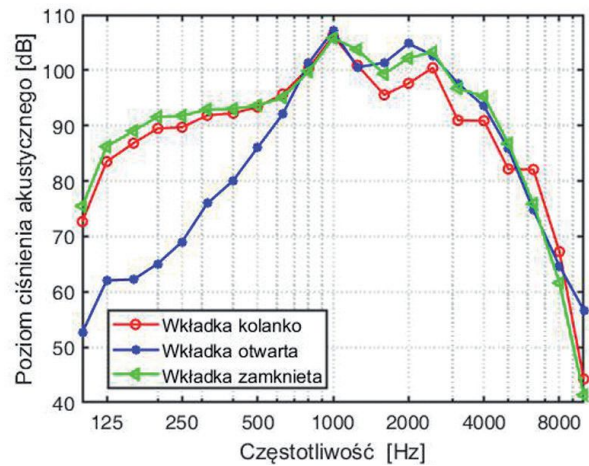
Rys. 2. Poziom ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki usznej o krótkim i długim trzpieniu



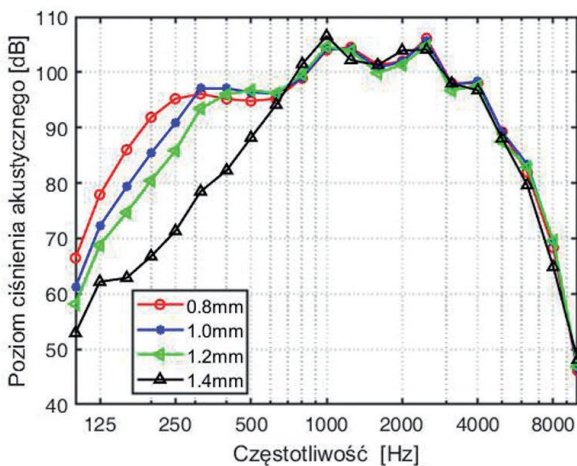
Rys. 5. Porównanie poziomego ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki z wentylacją równoległą oraz wentylacją typu Y, o różnej średnicy otworu wentylacyjnego



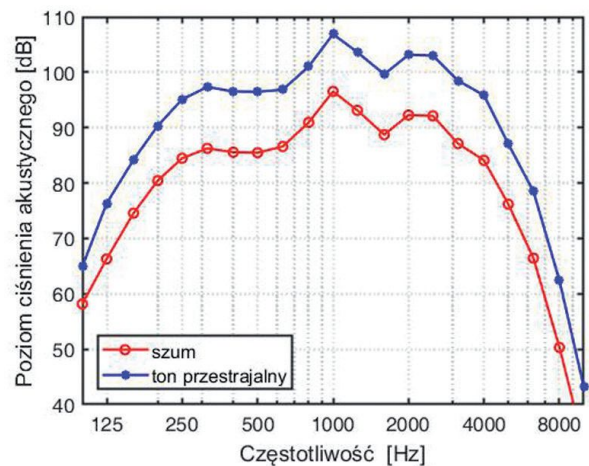
Rys. 3. Poziom ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki pełnej (wkładka zamknięta, bez wentylacji), z dźwiękowodem – z wężkiem Libby o średnicy 3 mm i 4 mm



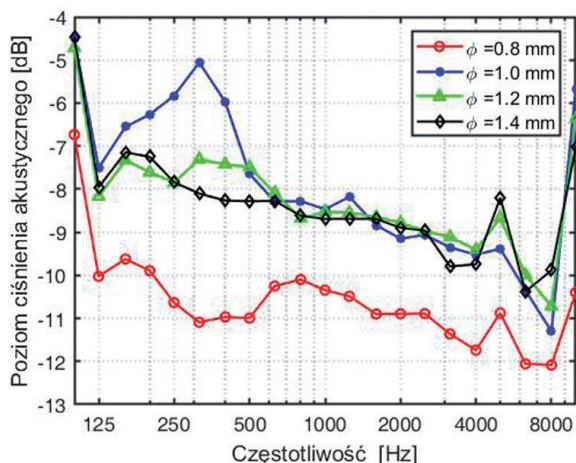
Rys. 6. Poziom ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki typu kolanko, wkładki otwartej oraz wkładki zamkniętej



Rys. 4. Poziom ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki z wentylacją typu Y, o różnej średnicy otworu wentylacyjnego



Rys. 7. Poziom ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym w zewnętrznym przewodzie słuchowym zarejestrowany dla szumu oraz tonu przestrojalnego



Rys. 8. Różnica pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym zarejestrowany dla szumu oraz tonu przestrajalnego, dla wkładki o krótkiej wentylacji i różnych średnicach otworu wentylacyjnego

W przypadku wkładki o krótkiej wentylacji zwiększanie średnicy otworu wentylacyjnego od 0.8 mm do 1.4 mm powoduje wzrost poziomu ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym w zakresie częstotliwości do około 500 Hz (Rys. 1). Maksymalne różnice poziomu ciśnienia akustycznego wynoszą około 15 dB. Zgodnie z oczekiwaniami i dotychczasową wiedzą – nie otrzymano żadnych różnic w zakresie średnich i wysokich częstotliwości.

Rys. 2 przedstawia poziom ciśnienia akustycznego zarejestrowany w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki z długim i krótkim trzpieniem. Rozmiar trzpienia nie wpływa istotnie na zmierzony poziom ciśnienia akustycznego, w całym zakresie częstotliwości.

W przypadku wkładki pełnej z dźwiękowodem (wężykiem typu Libby) zmiana średnicy wężyka z 3 mm do 4 mm powoduje nieznaczne (rzędu 1, 2 dB) zmniejszenie rejestrowanego poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości do ok. 500 Hz (Rys. 3).

Zwiększanie średnicy otworu wentylacyjnego dla wentylacji od 0.8 mm do 1.4 mm typu Y również powoduje zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie częstotliwości do ok. 500 Hz. Największą różnicę poziomów (rzędu 15 dB) zaobserwowano przy zmianie średnicy otworu z 1.2 mm do 1.4 mm. (Rys. 4). Z otrzymanych wyników zastanawiający jest brak zmian poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie średnich i wysokich częstotliwości, co jest sprzeczne z dotychczasową wiedzą.

Rys. 5 przedstawia porównanie poziomu ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładek z wentylacją równoległą oraz typu Y, dla dwóch różnych średnic otworu wentylacyjnego. Jak widać nie ma znaczącej różnicy w wartościach poziomu ciśnienia akustycznego pomiędzy tymi wkładkami jeśli otwór wentylacyjny ma małą średnicę. W przypadku większej średnicy, różnice w wartościach poziomu ciśnienia

akustycznego są większe, przy czym mniejsze wartości otrzymano dla wkładki typu Y.

Na następnym rysunku (Rys. 6) przedstawiono wartości poziomu ciśnienia akustycznego w zewnętrznym przewodzie słuchowym dla wkładki zamkniętej, wkładki kolanko oraz wkładki otwartej. Jak widać największe wartości poziomu ciśnienia akustycznego otrzymano dla wkładki zamkniętej, a najniższe dla wkładki otwartej. Dla obu tych wkładek obserwuje się różnice tylko w zakresie niskich częstotliwości. W przypadku wkładki kolanko różnice pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego dla tej wkładki i dwóch pozostałych (wkładka zamknięta i otwarta) dotyczą całego zakresu częstotliwości.

W ramach prowadzonych prac postanowiono również zbadać wpływ rodzaju sygnału akustycznego (szum, ton o przestrajanej częstotliwości) na charakterystyki częstotliwościowe. Otrzymane wyniki zaprezentowano na Rys. 7. Jak widać większe wartości otrzymano dla tonu przestrajalnego. Należy jednocześnie podkreślić, że różnice dość silnie zależą od parametrów wkładki (Rys. 8).

6. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów akustycznych dla wkładek usznych o różnych parametrach. W pomiarach wykorzystano najbardziej precyzyjny aktualnie układ pomiarowy – tors ze sztuczną głową z idealnie odwzorowanym zewnętrznym przewodem słuchowym. W tym kontekście, należy uznać, że uzyskane wyniki pomiarów są niezwykle cenne w kontekście uwzględnienia właściwości akustycznych wkładek usznych o różnych parametrach w procesie dopasowania aparatów słuchowych.

Bibliografia

1. H. Dillon, Hearing aids, Boomerang Press, Sydney, 2012
2. Vonlanthen, H. Arndt (2007), Hearing instrument technology for the hearing health care professional, 3rd edition, Thomson Delmar Learning