



**MARIA J. BIEŃKOWSKA¹, ANDRZEJ W. MITAS²,
AGATA M. WIJATA³**

Wybrane problemy akustyki na przykładzie tłumienia dźwięku

Selected problems of acoustics on the basis of sound attenuation

¹ Magister inżynier, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki i Aparatury Medycznej, Polska

² Profesor doktor habilitowany inżynier, Uniwersytet Śląski, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki i Aparatury Medycznej, Polska

³ Magister inżynier, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki i Aparatury Medycznej, Polska

Streszczenie

Jednym z problemów poruszanych w akustyce jest zjawisko tłumienia dźwięków. W artykule zagadnienie to zostało przedstawione na przykładzie zmian w strukturze dźwięku podczas transmisji przez powłoki brzuszne kobiety w ciąży. Zjawisko to może być zamodelowane filtrem dolno-przepustowym pierwszego rzędu. W artykule wykazano zmiany w charakterystyce amplitudowej i fazowej dźwięku docierającego do ucha płodu oraz wskazano na znaczące zmiany w jego barwie.

Słowa kluczowe: THD, filtr dolnoprzepustowy, tłumienie dźwięków.

Abstract

One of the problems of acoustics is the sound attenuation. In this paper this problem was described on the basis of changes in sound structure during transmission through pregnant women's abdominal wall. This phenomenon can be modeled with first order low-pass filter. In this paper, changes in amplitude and phase characteristics of the sound, which reach to the fetus ear, and changes in sound timbre have been shown.

Key words: THD, low-pass filter, sound attenuation.

Wstęp

Pobudzenia akustyczne docierają do organizmu człowieka nieustannie przez całe życie, ponieważ kanał percepcji i recepcji tej informacji jest aktywny także we śnie (pomijając przypadki patologiczne). Powszechność występowania tego rodzaju stymulant bezzasadnie uwalnia nas od realnego obowiązku analizy

wpływu dźwięków na organizm człowieka – jego kondycję psychofizyczną. Szczególne zagrożenie pojawia się wówczas, gdy zewnętrzne pobudzenie akustyczne nie jest skorelowane z zamierzeniem słuchacza (np. tzw. muzykoterapia prenatalna). Znajomość praw rządzących tego rodzaju zjawiskami daje możliwość selektywnego oddziaływania na rzecz ludzkiego organizmu.

Akustyka jako szeroki dział fizyki porusza wiele zagadnień dotyczących powstawania, propagacji i oddziaływania fal akustycznych. Pomimo że ze zjawiskami akustycznymi spotykamy się każdego dnia, nie zawsze potrafimy je zrozumieć. Jednym z problemów poruszanych w akustyce jest tłumienie dźwięków przez różnego rodzaju bariery. Badania nad tym zjawiskiem są w dzisiejszych czasach bardzo istotne dla wielu dziedzin życia: w przypadku architektury odpowiednie badania pozwalają na stworzenie dogodnych warunków mieszkaniowych, w których rozmowy sąsiadów nie będą zakłócały codziennego rytmu życia; ekrany akustyczne rozmieszczone przy drogach szybkiego ruchu pozwalają natomiast wyeliminować (lub przynajmniej ograniczyć) szkodliwy hałas pochodzący z ruchu ulicznego. Całkowicie odmiennym obszarem, w którym wykorzystywana jest wiedza o właściwościach dźwięków, są badania tłumienia przez barierę ciała ludzkiego.

Szereg badań wykazał, że słuch ludzki jest wykształcony już podczas życia płodowego, a dziecko potrafi reagować na dźwięki pochodzące z otaczającego je środowiska od 19. tygodnia [Hepper, Shahidullah 1994]. Rosnąca świadomość przyszłych matek oraz nieustanne dążenie do doskonałości powodują chęć stymulowania płodu dźwiękami już od pierwszych momentów pełnej funkcjonalności układu słuchowego. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż dźwięki te nie są przenoszone do ucha płodu w niezmienionej formie – są one tłumione proporcjonalnie do wzrostu częstotliwości.

Tłumienie sygnału

Dźwięki o niskich częstotliwościach przechodzą przez barierę brzucha matki w prawie niezmienionej formie, jednak powyżej częstotliwości 250 Hz tłumienie wzrasta o około 6 dB/oktawę [Gerhardt i in. 1990]. Taka wiedza pozwala nam na zaproponowanie do modelowania tego zjawiska pasywnego filtra dolnoprzepustowego pierwszego rzędu [Bieńkowska i in. 2016]. Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto, że częstotliwość graniczna dla tego filtra będzie na poziomie 250 Hz – zakłada się, że niższe częstotliwości znajdują się w 3 dB paśmie (pasmo, w którym tłumienie sygnału jest nie większe niż 3 dB).

Filtracja dolnoprzepustowa polega na przepuszczeniu częstotliwości sygnału poniżej ustalonej częstotliwości granicznej i jednoczesnym tłumieniu składowych powyżej tej wartości. Podczas takiego przetwarzania stosunek amplitudy sygnału przefiltrowanego do sygnału oryginalnego wyraża się wzorem:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_g}\right)^2}}. \quad (1)$$

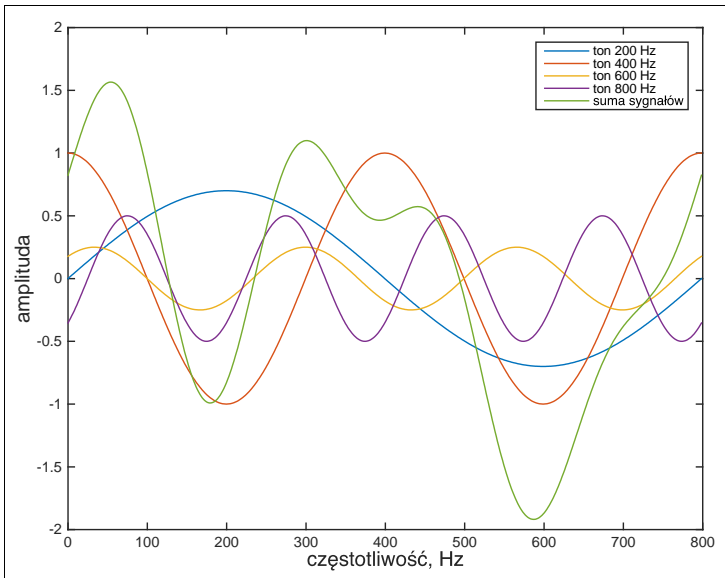
Natomiast faza sygnału oryginalnego zostaje opóźniona o wartość zadaną wzorem:

$$\varphi = -\arctg\left(\frac{f}{f_g}\right), \quad (2)$$

gdzie: f_g – częstotliwość graniczna.

Filtracja dźwięku

Do zobrazowania problemu zmian w strukturze dźwięku podczas filtracji opisanym wyżej filtrem przygotowano dźwięk złożony z 4 tonów o częstotliwościach 200, 400, 600 i 800 Hz o amplitudach z zakresu 0,25–1 i różnych przesunięciach fazowych. Na wykresie 1 przedstawione zostały pojedyncze okresy dla poszczególnych tonów oraz ich suma – dźwięk. W naturze czyste tony praktycznie nie występują, dlatego też w celu oceny dźwięków w brzuchu matki analizie powinniśmy podać złożenie tonów, a nie pojedynczą sinusoidę.

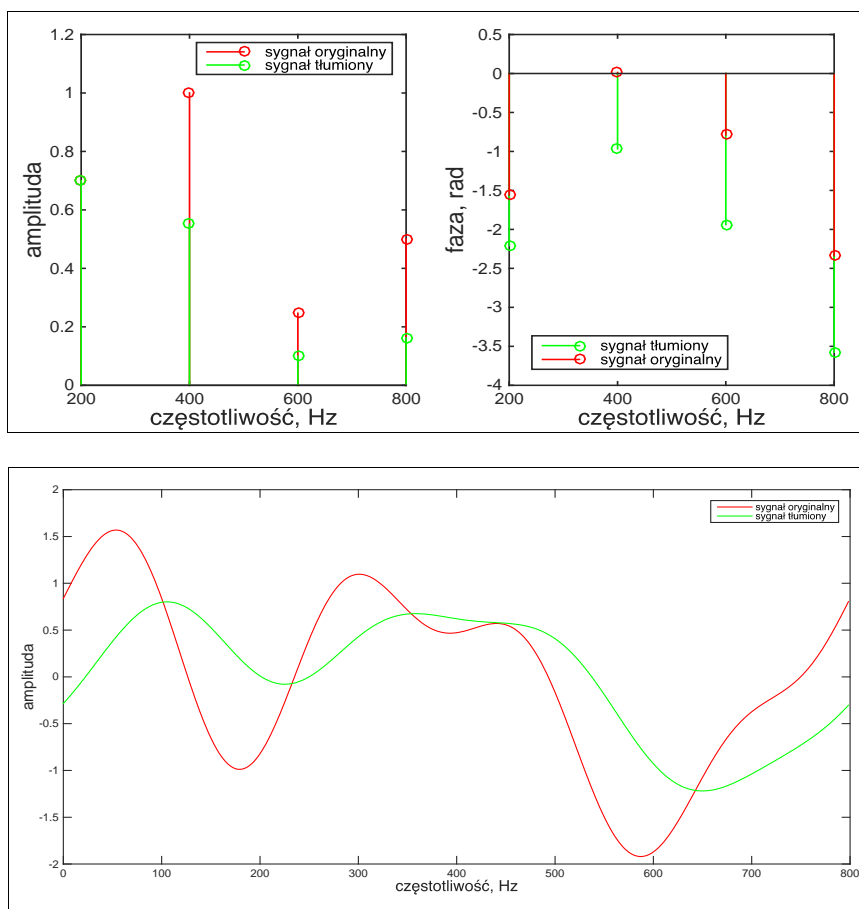


Wykres 1. Tony o częstotliwościach 200, 400, 600 i 800 Hz i ich suma

W celu symulacji filtracji sygnału musimy ponownie rozłożyć go na czynniki pierwsze – sinusoidy. W analizie sygnałów odpowiada to rozwinięciu w szereg Fouriera, w wyniku którego otrzymuje się widmo amplitudowe i fazowe dźwięku. W najprostszej formie można operację tą przedstawić jako zestawienie

wartości amplitud i faz kolejnych tonów składowych. W kolejnym kroku współczynniki widma amplitudowego (wartości amplitud dla kolejnych sinusoid) zostały przemnożone przez współczynniki tłumienia wyznaczone na podstawie wzoru (1), natomiast do współczynników widma fazowego (fazy kolejnych sinusoid) dodane zostały odpowiadające im współczynniki przesunięcia fazowego wyznaczone na podstawie wzoru (2).

Skorygowane (poddane filtracji FDP) współczynniki widma amplitudowego i fazowego posłużyły do syntezy sygnału przefiltrowanego, innymi słowy, dodane zostały do siebie sinusoidy o zmniejszonych wartościach amplitud i przesuniętych fazach. Na wykresach 2 przedstawiono widma amplitudowe oraz fazowe przed filtracją i po niej oraz reprezentację sumarycznego sygnału przed tłumieniem i po nim.



Wykres 2. Różnice przed filtracją i po niej dla współczynników amplitudowych i fazowych oraz różnice w złożonym dźwięku

W celu oceny zmian, jakie w dźwięku wywołuje filtracja FDP I rzędu, proponuje się dodatkowo obliczyć współczynnik zawartości harmoniczych (THD):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_1}, \quad (3)$$

gdzie: U_k – amplitudy kolejnych harmoniczych.

Współczynnik ten pozwala na ocenę bogactwa barwy dźwięku. THD dla sygnału przed filtracją i po zniekształceniu filtrem odpowiadającym charakterystyce tłumienia dźwięków na drodze do ucha płodu wynosiły odpowiednio: 1,64 i 0,83 – oznacza to, że barwa dźwięku uległa zmianie.

Wnioski

Propagacja sygnału akustycznego zawierającego informację dźwiękową nieczęsto jest przedmiotem badań, pomijając proste przykłady konieczności od niej separacji. Sale koncertowe o zadowalającej akustyce nadal nie są zjawiskiem powszechnym. Trudno przy tym rozważać jakość dźwięku muzycznego, skoro zaburzenia toru sygnałowego, także z uwagi na zależność wzmocnienia (tłumienia) od gęstości ośrodka, wywołują zmianę współczynnika zawartości harmoniczych. W tym kontekście rozważania na temat muzykoterapii prenatalnej mogą mieć wyłącznie charakter kwalitatywny, ze świadomością konieczności abstrahowania od takich elementów muzyki, jak melodia i harmonia, ponieważ po przesunięciu fazowym wyższych harmoniczych uzyskujemy zupełnie nowe dźwięki, które muzykę pierwotną jedynie zgrubnie przypominają.

Tłumienie dźwięków na drodze do ucha płodu w brzuchu matki może zostać zamodelowane przy zastosowaniu FDP. W wyniku filtracji w sygnale wyjściowym amplitudy są niższe, a poszczególne harmoniczne tony, składające się na dźwięk, mają przesuniętą fazę. Różnice pomiędzy sygnałem oryginalnym i przefiltrowanym widoczne są na wykresach także bez wnikliwej analizy matematycznej. Zmianie ulega również wartość współczynnika zawartości harmoniczych, który pozwala na ocenę bogactwa barwy dźwięku. Barwa jest tą cechą sygnału, która nie tylko pozwala np. na rozróżnienie tej samej nuty granej za pomocą dwóch różnych instrumentów, ale przede wszystkim determinuje atrakcyjność dźwięku w sensie artystycznym. Powyższe rozważania pozwalają nam wnioskować na temat znaczącego wpływu filtracji na strukturę dźwięku.

Finansowanie

Praca została częściowo sfinansowana z badań statutowych Politechniki Śląskiej dla Młodych Naukowców BKM-508/RAu-3/2016.

Literatura

- Bieńkowska M.J., Mitas A.W., Lipowicz A.M. (2016), *Model of Attenuation of Sound Stimuli in Prenatal Music Therapy*, „Information Technologies in Medicine of the series Advances in Intelligent Systems and Computing” vol. 471.
- Gerhardt K.J., Abrams R.M., Oliver C.C. (1990), *The Sound Environment of the Fetal Sheep*, „American Journal of Obstetric and Gynecology” vol. 162/1.
- Hepper P.G., Shahidullah B.S. (1994), *Development of Fetal Hearing*, „Archives of Disease in Childhood” vol. 71.
- Rusek M., Pasierbiński J. (1999), *Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach*, Warszawa.