



## Tłumienie dźwięku przez liście

*Dominika Żółtowska*

*V Liceum Ogólnokształcące*

*im. Stefana Żeromskiego w Gdańsku*

### WSTĘP

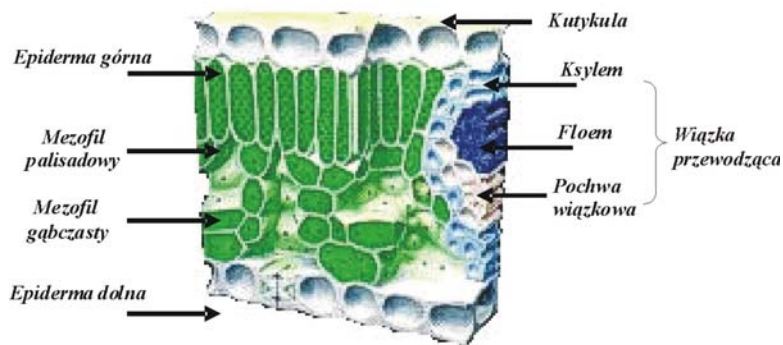
Spośród wielu ważnych funkcji, które pełnią drzewa w środowisku naturalnym, najistotniejszy jest życiodajny proces fotosyntezy. Dlatego spojrzenie na drzewo jako naturalną barierę chroniącą nas przed hałasem może wydać się nietypowe. W tłumieniu dźwięku przez drzewo bierze udział zarówno jego szkielet, jak i ulistnienie. Każdy liść rośliny okrytonasiennej dwuliściennej, złożony z dwóch warstw epidermy (z których górna warstwa pokryta jest woskiem – kutykulą), miękiszu palisadowego oraz miękiszu gąbczastego, odgrywa tu swoją indywidualną rolę.

Epiderma funkcjonuje jako naprężona powłoka i znacznie przyczynia się do turgorowej sztywności liścia. Miękisz palisadowy zaś charakteryzuje się stosunkowo dużą zawartością komórek (ok. 90% objętości). Natomiast miękisz gąbczasty zawiera duże przestwory międzykomórkowe i stanowi rusztowanie rozpięte między miękiszem palisadowym a dolną skórą [4].

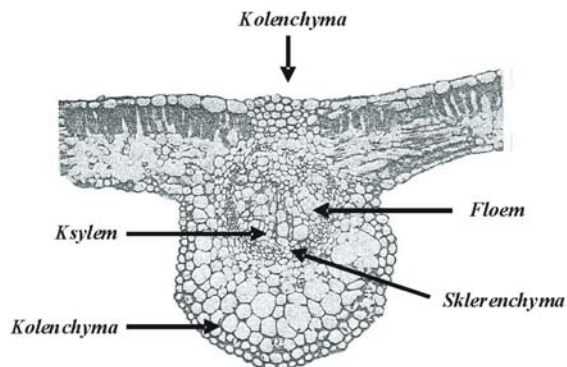
Dla mechanicznej sztywności liścia ważną rolę pełnią też nerwy stanowiące rusztowanie, na którym rozpięta jest blaszka. Oprócz wyżej wspomnianych elementów, liście zawierają zwykle wzmacniającą kolenchymę, a dzięki obecności zdrewniałej sklerenchymy w postaci pasm włókien, zachowują sztywność również wtedy, gdy ich komórki tracą turgor.

**Celem poniższej pracy było uzyskanie informacji na temat tłumienia dźwięku przez liście wybranych gatunków drzew liściastych.** Mam nadzieję, że uzyskane wyniki będą mogły mieć zastosowanie przy projektowaniu miejskich i podmiejskich pasów zieleni, pełniących funkcję ekranów akustycznych. W swoich rozważaniach nie brałam pod uwagę roślin szpilkowych jako mało odpornych na niekorzystne warunki środowiska.

### BUDOWA LIŚCIA



### Rozmieszczenie tkanek wewnątrz blaszki liścia



### Przekrój przez nerw liścia

**Kolenchyma** (zwarzica) – tkanka wzmacniająca roślin złożona z żywych komórek o nierównomiernie zgrubiałych pierwotnych ścianach komórkowych.






**Sklerenchyma** (twardzica) – tkanka wzmacniająca roślin zbudowana z komórek o bardzo zgrubiałych ścianach; w stanie dojrzałym jej komórki są martwe.

**Turgor** (ciśnienie turgorowe) – stan napięcia ścian komórkowych spowodowany ciśnieniem osmotycznym soku komórkowego; powstaje, gdy ciśnienie osmotyczne we wnętrzu komórki jest wyższe niż ciśnienie osmotyczne płynu otaczającego.

## MATERIAŁY I METODY

Celem mojego doświadczenia było sprawdzenie, czy i w jakim stopniu wybrane liście tłumią fale dźwiękowe. Badałam liście drzew przedstawionych w tabeli 1. Pomiaru dokonywałam w warunkach domowych. Wykorzystałam komputer osobisty wyposażony w kartę dźwiękową, głośniki oraz mikrofon. W celu zapewnienia właściwych warunków pomiaru skonstruowałam komorę dźwiękoszczelną z płyty styropianowej. Jej zadaniem było zapobieganie rozpraszaniu się dźwięku oraz zagwarantowanie powtarzalności warunków podczas doświadczenia. Zasadę pomiaru obrazuje schemat przedstawiony na rys. 1.

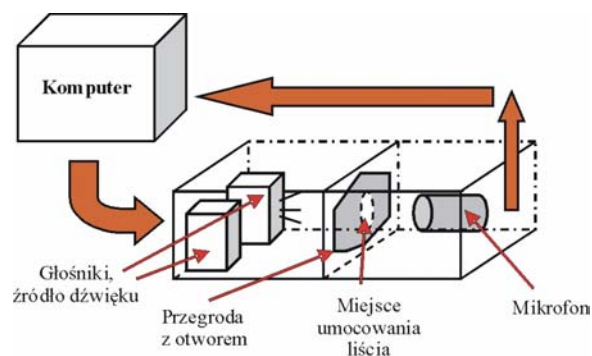
Tab. 1. Wybrane gatunki liści. Liście zważono na wadze aptekarskiej

Gatunek drzewa		Średnia masa [g]
1. Klon pospolity ( <i>Acer platanoides</i> )		<b>2,355</b>
2. Grab pospolity ( <i>Carpinus betulus</i> )		<b>0,450</b>
3. Buk zwyczajny ( <i>Fagus sylvatica</i> )		<b>0,636</b>
4. Dąb szypułkowy ( <i>Quercus robur</i> )		<b>1,000</b>
5. Lipa szerokolistna ( <i>Tilia platyphyllos</i> )		<b>1,073</b>

W celu wyeliminowania niekorzystnych efektów interferencyjnych podczas pomiaru, ściany komory zostały wyłożone watą.

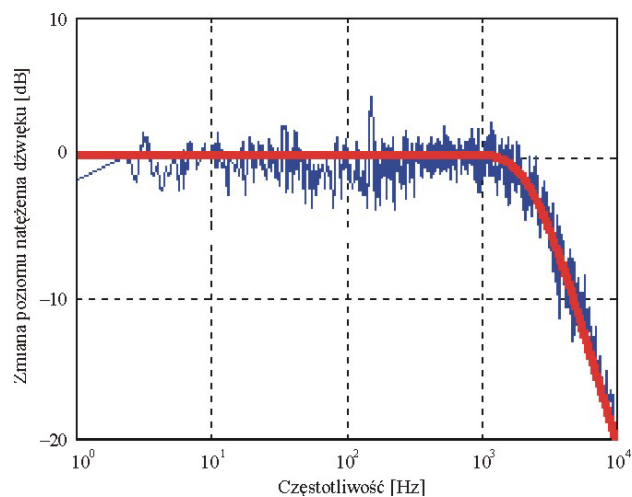
Dla każdego gatunku wykonałam 11 pomiarów, z czego pierwszy pomiar był kontrolny (przegroda otwarta). W następnych pomiarach otwór zasłaniałam różnymi liśćmi tego samego gatunku o zbliżonych wymiarach. Każdy pomiar trwał 60 s. W tym czasie komputer generował dźwięk (program Goldwave) o zmieniającej się liniowo częstotliwości w przedziale 0–10 kHz (czyli przemiatła cały zakres częstotliwości). Następnie, po przejściu przez komorę, dźwięk był rejestrowany. Wykresy obrazujące fale dźwiękowe podczas pomiaru, gdy liść był obecny w komorze, charakteryzowały się mniejszą amplitudą drgań niż przy pomiarze przeprowadzonym przy braku liścia jako „przeszkody”. Wiedząc, że kwadrat amplitudy drgań jest wielkością proporcjonalną do energii cząsteczek, obliczyłam różnice natężeń dźwięku  $\Delta J$  w obu sytuacjach, w funkcji liniowo zmieniającej się częstotliwości. Za pomocą programu komputerowego Matlab obliczyłam średni współczynnik tłumienia liści dla poszczególnych gatunków drzew. Wartość tego współczynnika uzyskałam drogą uśrednienia; poprzez podzielenie sumy  $\Delta J(f)$  [dB] (sumowanie  $\Delta J(f)$  po  $f$  [Hz] w zakresie od 10 do 10 000 Hz) przez zakres częstotliwości. Następnie na podstawie uzyskanych wyników sprawdziłam, czy istnieje zależność pomiędzy masą liścia a wartością średniego współczynnika tłumienia. Aby potwierdzić doświadczalne rezultaty tłumienia dźwięku, podjęłam próbę znalezienia prostego modelu fizycznego badanego zjawiska.

Wykresy potrzebne do analizy wyników wykonałam w programach komputerowych Matlab i Excel.

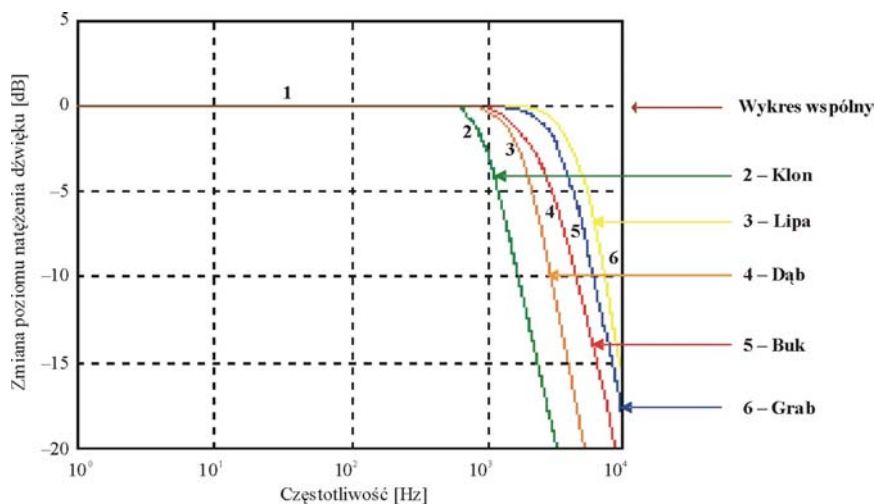


Rys. 1. Schemat aparatury pomiarowej

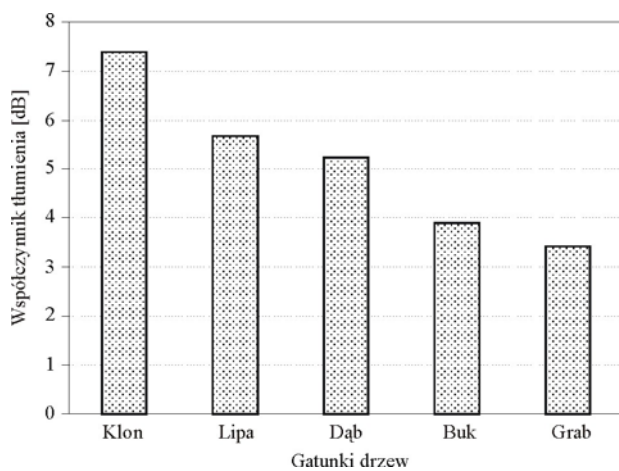
## WYNIKI



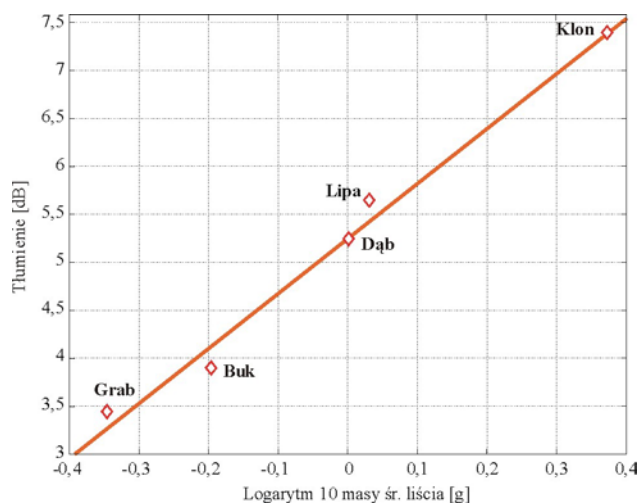
Rys. 2. Przykładowy wykres przedstawiający wpływ obecności liścia (dąb) w komorze pomiarowej na poziom natężenia dźwięku w zależności od częstotliwości (0–10 kHz). Ujemne wartości wykresu świadczą o tłumieniu dźwięku przez liść. Ciągłą linią oznaczono aproksymację przebiegu



Rys. 3. Wykres zbiorczy przedstawiający wpływ obecności badanych gatunków liści w komorze na poziom natężenia dźwięku



Rys. 4. Porównanie średniego współczynnika tłumienia dźwięku przez liście



Rys. 5. Zależność między średnim tłumieniem (0–10 kHz) liści a ich średnią masą w skali logarytmicznej

## DYSKUSJA

Wyniki uzyskane podczas pomiarów wskazują, że liście odmiennych gatunków drzew charakteryzują się zbliżonymi właściwościami akustycznymi.

Ponadto wykazano, iż tłumienie dźwięku przez liście zależy od częstotliwości fali akustycznej (rys. 2). Wszystkie badane liście wykazały wzrost tłumienia wraz ze wzrostem częstotliwości fali dźwiękowej.

Zaobserwowano także, że tłumienie dźwięku przez liście dla niskich częstotliwości (0–3 kHz) jest bliskie zeru (linia nr 1 na rys. 2). Powyżej tego zakresu, od pewnej charakterystycznej dla poszczególnego gatunku liścia częstotliwości  $f_0$ , następuje wyraźny wzrost udziału liści w procesie tłumienia (linie 2–6 na rys. 2).

Różnice w tłumieniu są widoczne na rys. 4. Przedstawia on współczynnik tłumienia w badanym zakresie częstotliwości dla różnych gatunków drzew. Najlepszy rezultat zaobserwowałam dla liścia klonu, podczas gdy liść grabu okazał się najmniej efektywnym materiałem tłumiącym.

Z porównań rys. 3 i rys. 4 wynika, że jeżeli liść danego gatunku ma większy współczynnik tłumienia, to zaczyna istotnie tłumić powyżej mniejszej częstotliwości charakterystycznej  $f_0$ .

Obserwowane różnice we własnościach akustycznych liści poszczególnych gatunków drzew możemy uzasadnić ich odmienną anatomią. Spośród wielu parametrów liści, które mogłyby mieć znaczenie w procesie tłumienia, wybrałam masę, którą można zmierzyć w prosty sposób, używając wagi aptekarskiej.

Analiza wyników wykazała, że tłumienie dźwięku przez liść jest zależne liniowo od jego masy (rys. 5) w skali logarytmicznej. Związek ten jest bardzo wyraźny dla wszystkich gatunków liści.

Na uzyskane wyniki postanowiłam spojrzeć także z fizycznego punktu widzenia. Badany liść można potraktować jako silnie tłumiony oscylator harmoniczny [3]. Przewidywane tłumienie liścia przez model zaznaczono ciągłą linią na rys. 2. Parametrami modelu są: masa liścia, opór liścia oraz jego sprężystość. Natomiast siła, która pobudza oscylator, wynika z natężenia drgań cząsteczek powietrza tworzących falę akustyczną.

Głośniki pobudzają cząsteczki powietrza do drgań harmonicznych. Rozchodząca się fala dźwiękowa napotyka na swojej drodze liść, wprawiając go w drganie. W ten sposób liść przenosi dźwięk. Liść tym łatwiej pobudzić do drgań, im mniejsza jest jego masa.

Wartość współczynnika tłumienia zależy od bezwładności liścia, proporcjonalnej do jego masy, oraz oporu powietrza działającego na drgający liść. Wraz ze wzrostem częstotliwości, rosnący opór powietrza oraz bezwładność liścia powodują zmniejszenie amplitudy drgań. Im mniejsza amplituda, tym dźwięk jest gorzej przenoszony, czyli tłumiony. Dlatego zależność przenoszenia dźwięku przez liść powinna się zmieniać zgodnie z ciągłą linią z rys. 2.

Według danych literaturowych zieleń jest uważana za mało efektywny sposób ochrony przed hałasem. Drzewa w stanie ulistnionym redukują poziom hałasu od 0,03 do 0,35 dB na 1 m szerokości przeszkody, a w stanie bezlistnym od 0,01 do 0,2 dB [2].

Uważam jednak, iż te dane nie powinny nas zniechęcać, lecz motywować do dalszych badań nad własnościami akustycznymi drzew z uwzględnieniem ich wszystkich parametrów, tj. wysokości drzewa, kształtu korony oraz grubości pnia i gałęzi, w celu zwiększenia skuteczności osłon z drzew w ochronie przed hałasem. W literaturze nie znalazłam dokładnych opisów naturalnych barier dźwiękowych uwzględniających parametry wynikające ze zróżnicowania gatunkowego drzew.

Myśląc o zastosowaniu drzew jako bariery dźwiękochłonnej, musimy jednak wziąć pod uwagę powolny wzrost w początkowej fazie ich rozwoju, wymagania życiowe oraz długość okresu wegetacji.

Podsumowując, w walce z hałasem powinniśmy stosować kompleksowe rozwiązania, a ekranowanie zielenią może stanowić uzupełnienie innych metod, tj. coraz częściej spotykanych sztucznych ekranów. Pamiętajmy jednak, iż drzewa, w przeciwieństwie do wyżej wspomnianych ekranów, wykazują wiele pozytywnych oddziaływań, zarówno na środowisko, jak i zdrowie człowieka. Podnoszą również walory estetyczne krajobrazu, a raz posadzone mogą nam służyć przez wiele lat. W tym kontekście każde usprawnienie, które dotyczy tłumienia hałasu przez zielenią, jest moim zdaniem cenne.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Dolatowski Jakub, Seneta Włodzimierz, *Dendrologia*, wydanie nowe, PWN, Warszawa 1997.
- [2] Engel Zbigniew, *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, wyd. 2, PWN, Warszawa 2001.
- [3] Halliday David, Resnick Robert, Walker Jarl, *Podstawy fizyki 2*, wyd. 1, PWN, Warszawa 2003.
- [4] Hejnowicz Zygmunt, *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*, PWN, Warszawa 1980.