

# POZNÁMKA K METODIKE MERANIA ÚTLMU AKUSTICKÝCH VĽN V TUHÝCH LÁTKACH

## NOTE ON THE METHODOLOGY OF MEASURING THE ATTENUATION OF ACOUSTIC WAVES IN SOLID STATE

Peter Sidor, Drahoslav Vajda

Katedra fyziky, Žilinská univerzita, 01026 Žilina, Slovensko  
Department of Physics, University of Žilina, 01026 Žilina, Slovakia

**Abstrakt** Predkladaný článok je poznámkou k metodike merania útlmu ultrazvukových vln v prípade, keď meracia aparatura neumožňuje merať útlm priamo z pomeru amplitúd, ale meria pomer plôch dvoch za sebou nasledujúcich akustických impulzov.

**Summary** The presented paper is a note on the methodology of measuring the attenuation of ultrasonic waves in the case of observation device not facilitating a direct measurement of the attenuation based on the definition of the ratio of amplitudes. Instead the ratio of the areas of two subsequent acoustic impulses is acquired.

### 1. ÚVOD

Šírenie sa akustických vln je v každom reálnom prostredí doprevádzané absorpciou jej energie. Veličinou, ktorá nám poskytuje informácie o vlastnostiach prostredia, ktorým sa vlna šíri, je aj útlm, resp. koeficient útlmu. Útlm je fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje ako rýchlo klesá, resp. zaniká, akustická vlna v danom prostredí a je definovaný ako pomer amplitúd dvoch za sebou nasledujúcich akustických signálov. Absorpcia energie je určená mikrofyzikálnymi vlastnosťami prostredia a zo závislosti koeficienta útlmu od frekvencie a teploty môžeme rozhodnúť o určujúcich mechanizmoch jej absorpcie.

S cieľom vyšetriť útlm akustických vln sa do vyšetrovaného prostredia privedie dostatočne krátky vysokofrekvenčný ultrazvukový impulz. Pozorovaním mnohonásobného odrazu tohto akustického impulzu medzi okrajovými stenami prostredia, môžeme zistiť ako klesá amplitúda postupne sa odrážajúcich akustických impulzov v závislosti od času a prejdenej vzdialenosti.

Z takto získanej série postupne odrazených akustických impulzov môžeme pozorovaním ich amplitúd určiť útlm. V praxi sa však dosť často stretávame s meracími aparatúrami, ktoré nemerajú amplitúdu impulzov a tým neumožňujú určiť útlm priamo z pomeru amplitúdy impulzov, ale merajú pomer plôch dvoch za sebou nasledujúcich akustických impulzov. Tento článok je poznámkou k metodike merania útlmu práve pre takýto prípad. Naším cieľom je ukázať kedy a za akých podmienok je takéto meranie úplne v súlade s definíciou útlmu.

### 2. TEORETICKÁ ČASŤ

Je všeobecne známe [1-3], že amplitúda vlny šíriacej sa v absorbujúcom prostredí klesá so vzdialenosťou podľa vzťahu

$$A = A_0 \exp(-\alpha x), \quad (1)$$

kde  $A_0$  je amplitúda vlny v mieste  $x=0$ ,  $A$  je amplitúda vlny vo vzdialenosti  $x$  a  $\alpha$  je materiálová konštanta (koeficient útlmu).

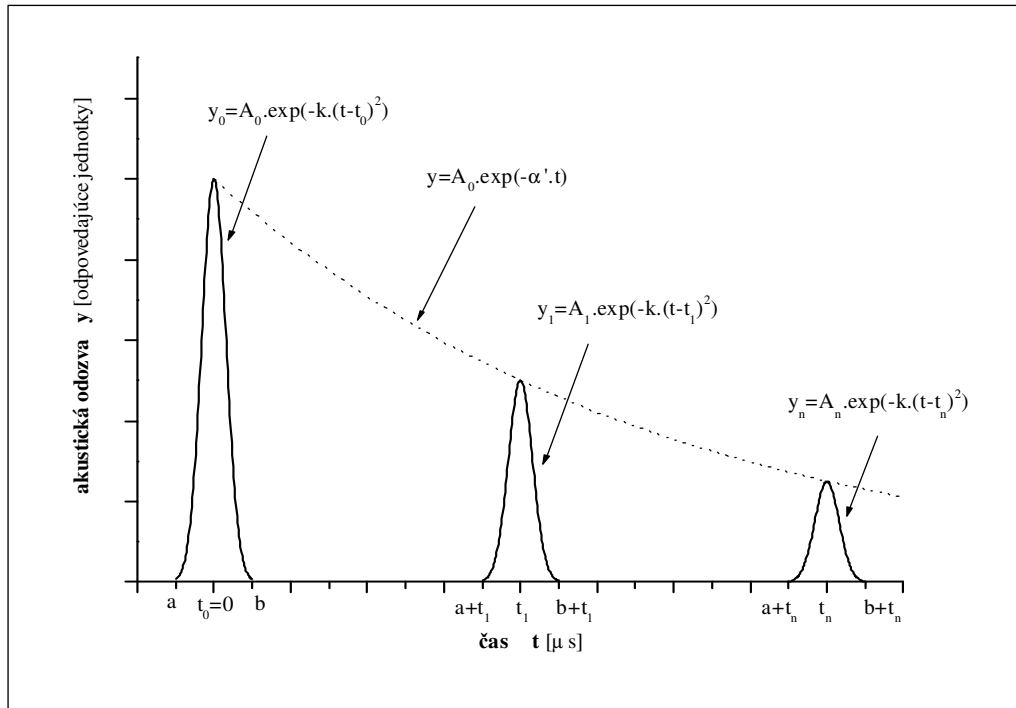
Pre intenzitu akustickej vlny platí podobný vzťah

$$I = I_0 \exp(-\beta x), \quad (2)$$

pričom, vzhľadom na to, že intenzita vlny je priamoúmerná druhej mocnine jej amplitúdy ( $I \approx A^2$ ), platí  $\beta = 2\alpha$ .

Akustická vlna vygenerovaná vhodným akustickým meničom ako vysokofrekvenčný akustický impulz [2,4] na jednom konci vzorky, sa vyšetrovanou vzorkou šíri, na druhom konci sa odráža a postupuje naspäť do vzorky. Akustický impulz sa na koncoch vzorky mnohonásobne odráža a prechodom vzorkou sa utľmuje. Pri odrazoch sa prostredníctvom akustického meniča čiastočne mení na napäťový impulz. Za predpokladu planparalelnosti čelných plôch vzorky, medzi ktorými dochádza k odrazu akustického impulzu, na obrazovke osciloskopu dostávame sériu postupne klesajúcich napäťových impulzov, ktoré odpovedajú postupne odrazeným akustickým impulzom prechádzajúcimi vzorkou. Z tejto série zanikajúcich impulzov (akustických ech) určujeme útlm (obr. 1), ktorý je definovaný vzťahom [2]

$$\lambda = \frac{A_0}{A_1}. \quad (3)$$



Obr. 1. Schématický časový priebeh série postupne odrazených akustických impulzov.  
Fig. 1. Schematic temporal behavior of a subsequently reflected acoustic impulses.

Ako v teoretických úvahách, tak aj v experimentoch sa vychádza z predstavy a predpokladu, že straty energie a mechanizmy strát sa dajú popísať matematickým aparátom tlmeného harmonického oscilátora, čo sa prejavuje tak, že vo výrazoch pre amplitúdu akustickej vlny sa objavuje výraz  $\exp(-\alpha x)$  resp.  $\exp(-\alpha' t)$ , kde rozmer  $\alpha$  je  $\text{m}^{-1}$ , resp.  $\text{dBm}^{-1}$  a rozmer  $\alpha'$  je  $\text{s}^{-1}$ , resp.  $\text{dBS}^{-1}$ . Prevod medzi koeficientom útlmu  $\alpha$  a  $\alpha'$  sa uskutočňuje podľa známeho vzťahu  $x = ct$ , kde  $c$  je rýchlosť akustickej vlny vo vyšetrovanej vzorke [2]. To znamená, že vrcholy ech musia ležať na exponenciálnej krivke  $y = A_0 \exp(-\alpha' t)$  (obr. 1). V opačnom prípade nevieme o hodnote útlmu získať dôveryhodnú informáciu.

Experimentálne namerané série postupne odrazených akustických impulzov nás oprávňujú a vedú k predpokladu (obr. 2), že impulzy (echá) majú tvar podobný krivke gaussovho rozdelenia a môžeme ich popísať funkciou [6]

$$y = A \exp(-k t^2). \quad (4)$$

V ďalšom teda predpokladajme, že prvé echo môžeme popísať funkciou  $y_0$  v tvare

$$y_0 = A_0 \exp(-k (t - t_0)^2). \quad (5)$$

Druhé echo môžeme popísať funkciou  $y_1$  v tvare

$$y_1 = A_1 \exp(-k (t - t_1)^2), \quad (6)$$

a podobne je tomu aj v prípade n-tého echa

$$y_n = A_n \exp(-k (t - t_n)^2). \quad (7)$$

Amplitúdy  $A_n$  ležia na exponenciálnej krivke (obr. 1) tvaru

$$A_n = A_0 \exp(-\alpha' t_n), \quad (8)$$

pričom pre amplitúdy očividne platí

$$A_0 > A_1 > A_2 > \dots > A_n.$$

V našich úvahách tiež predpokladáme, že koeficient  $k$ , určujúci tvar priebehu echa, je u oboch rovnaký. Tento predpoklad je opodstatnený a experimentálne dobre verifikovateľný. Jeho opodstatnenosť je v tom, že mechanizmus útlmu sa

prechodom akustickej vlny vzorkou nemení. Ďalej tiež predpokladáme, že útlm nezávisí od amplitúdy. V takomto prípade by útlm podľa definície mal byť

$$\lambda = \frac{A_0}{A_1} = \frac{A_1}{A_2} = \dots = \frac{A_{n-1}}{A_n}. \quad (9)$$

Ako sme už však spomenuli, meracia aparátúra [7] neumožňuje merať útlm priamo z pomeru amplitúd, ale z pomeru plôch ech. V takomto prípade urobíme nasledovnú úvahu a postupujeme takto:

Keďže šírka všetkých ech je na časovej osi rovnaká, zvolíme si interval od  $a$  po  $b$  a nastavíme ho u oboch vybraných ech rovnaký (obr. 1). Takto vybraná plocha sa bude započítavať do výpočtu pre útlm. Nastavenie intervalu  $\langle a, b \rangle$  umožňuje aj meracia aparátúra *Matec Automatic Attenuation Recorder* [8]. Ďalej ukážeme, že za uvedených predpokladov, takto získaná hodnota útlmu je plne v súlade s jeho definíciou.

Napíšme teda útlm ako pomer plôch dvoch po sebe idúcich ech

$$\lambda = \frac{S_{A_0}}{S_{A_1}}, \quad (10)$$

kde  $S_{A_0}$  je plocha prvého echa v hraniciach od  $a$  po  $b$  a  $S_{A_1}$  plocha druhého echa v rovnakých hraniciach.

Keď dosadíme za tieto plochy konkrétne integrálne výrazy dostávame

$$\lambda = \frac{S_{A_0}}{S_{A_1}} = \frac{\int_{a+t_0}^{b+t_0} A_0 \exp(-k (t-t_0)^2) dt}{\int_{a+t_1}^{b+t_1} A_1 \exp(-k (t-t_1)^2) dt}. \quad (11)$$

V integráloch použijeme substitúciu  $t-t_0 = \tau$  (resp.  $t-t_1 = \tau$ ), konštanty vyberieme pred integrál a dostaneme

$$\lambda = \frac{A_0 \int_a^b \exp(-k \tau^2) d\tau}{A_1 \int_a^b \exp(-k \tau^2) d\tau}. \quad (12)$$

Keďže integrál v čitateli je rovnaký ako v menovateli, môžeme ich vykrátiť a pre útlm dostávame

$$\lambda = \frac{A_0}{A_1}. \quad (13)$$

Takto získaný vzťah pre útlm je teda úplne v súlade s jeho definíciou a definičným vzťahom (9). Ukázali sme teda, že meranie útlmu využitím aparátúry merajúcej pomer plôch dvoch za sebou nasledujúcich akustických impulzov je korektné.

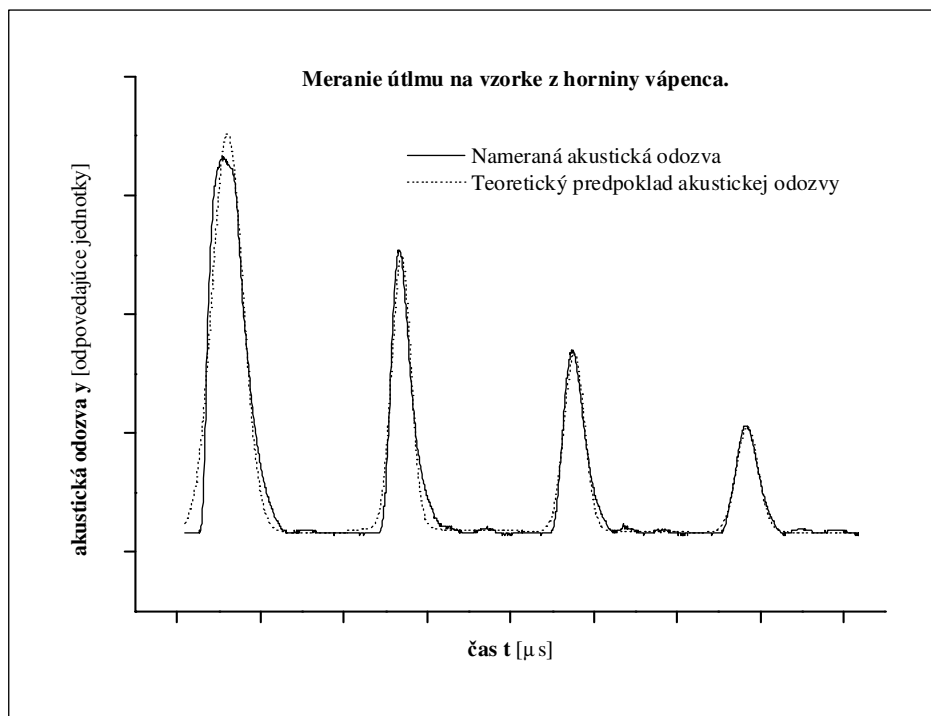
### 3. POROVNANIE S EXPERIMENTOM

Na obr. 2 pre porovnanie uvádzame priebeh experimentálne získaných impulzov akustickej odozvy a teoreticky predpokladaných akustických signálov popísaných funkciami  $y_n$  podľa vzťahu (7). Meracie zariadenie *Matec Automatic Attenuation Recorder (model 2470A)* [8] umožňuje nastaviť požadovaný interval  $\langle a, b \rangle$  a umožňuje ho nastaviť u oboch ech rovnaký. Vidíme, že zhoda medzi experimentálne získanými výsledkami a teoretickými výpočtami je evidentná.

### 4. ZÁVER

Ukázali sme teda, že meranie útlmu meraním plôch dvoch po sebe idúcich impulzov je plne v súlade s jeho definíciou a je v zhode s experimentom. Takéto meranie je korektné za nasledujúcich predpokladov:

1. Má akustických ech ležia na exponenciále.
2. Akustické echá majú tvar  $y_n = A_n \exp(-k (t-t_n)^2)$ , kde  $A_n$  je amplitúda a  $k$  je konštanta rovnaká pre všetky echá.
3. Interval  $\langle a, b \rangle$  je pre zrovnávané echá rovnaký.



Obr. 2. Porovnanie experimentálne získanej série akustických ech a teoreticky predpokladaných impulzov podľa vzťahu (7).  
 Fig. 2. Comparison of experimentally acquired of acoustic echoes with theoretically assumed impulses based on formula (7).

## LITERATÚRA

- |  |  |
|--|--|
| <p>[1] W. P. Mason: Physical Acoustic and the Properties of Solids, Princeton, N. J., 1958.</p> <p>[2] R. Truell, Ch. Elbaum, B. B. Chick: Ultrasonic Methods in Solid State Physics, Academic Press, New York and London, 1969.</p> <p>[3] L. M. Bukhovskikh, O. A. Godin: Acoustics of Layered Medias, Springer – Verlag 1998.</p> | <p>[4] D. Royer, E. Dieulesaint: Elastic Waves in Solids I, Springer – Verlag Berlin 2000.</p> <p>[5] D. Royer, E. Dieulesaint: Elastic Waves in Solids II, Springer – Verlag Berlin 2000.</p> <p>[6] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands: Feynmanove prednášky z fyziky I, ALFA 1980.</p> <p>[7] Matec Pulse Modulator and Receiver, Operation and Service Manual, 1991.</p> <p>[8] Matec Automatic Attenuation Recorder, Operation and Service Manual, 1991.</p> |
|--|--|