

Vlnění

D. Kozak*, A. Šrailová**, T. Zikmund***

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

david.kozak.cz@gmail.com*, srailova.anna@gmail.com**,

tomaszikmund@me.com***

Abstrakt

Hlavním cílem pokusu je demonstrace rychlosti šíření a principu superpozice akustických vln utlumením jejich ozvěny druhým párem reproduktorů. V první fázi pokusu bude změřena doba šíření akustických vln od prvního k druhému páru reproduktorů. V druhém kroku se vyšlou z párů reproduktorů akustické signály se vzájemným zpožděním tak, aby vlny byly v protifázi a odečetly se. V případě, že vlna nebude vzhledem k vyzářovací charakteristice reproduktorů dostatečně homogenní a nedojde proto k utlumení ozvěny, bude demonstrován úspěšně alespoň princip sonaru.

1 Úvod

Inspirací k této práci bylo špatné ozvučení brněnských kasáren. Nástupiště má rozměry 180×60 metrů, ze všech stran je obestavěno rozsáhlými vysokými budovami a při jedné z delších stran jsou nainstalovány čtyři reproduktory. Odražený zvuk od čelních stěn protějších budov vytváří tak silnou ozvěnu, že u tribuny není slyšet jediné slovo řečníka.

Je zřejmé, že přemístění reproduktorů k jiné straně nástupiště by nepomohlo. Navíc na protější straně tribuny by způsobily kladnou zpětnou vazbu a rozkmitání zesilovače. Nás proto zajímalo zda-li existuje jiné řešení.

2 Rozbor úlohy

Zvuk je mechanické kmitání o slyšitelných frekvencích přibližně v rozsahu od 20 Hz do 20 kHz. Ve vzduchu se šíří podélným kmitáním rychlostí 330m/s. Pro představu mějme zvukový signál $s(t)$, který se šíří podél osy x a jeho zdroj se nachází v počátku. Ve vzdálenějším bodu od zdroje bude pak signál vypadat takto[1]:

$$s'(x, t) = s\left(t - \frac{x}{c}\right) \quad (1)$$

kde: s ... signál ze zdroje,

s' ... signál ve vzdálenosti x od zdroje,

c ... rychlost šíření signálu v daném prostředí,

t ... čas.

Často postupují určitou oblastí prostoru současně dvě nebo více vln. U překrývajících se vln se výchylky algebraicky sčítají a vytvářejí jednu výslednou vlnu. Překrývající se vlny se při svém postupu navzájem neovlivňují. [2]

Pokud tedy chceme některý signál potlačit, musíme vyslat další signál, který bude k tomu původnímu komplementární. Důležitý je také směr šíření signálu. Pokud by se signál šířil v opačném směru, dosáhneme nejvýše vzniku stojatých vln.

V místě, kde dojde k potlačení ozvěny, musí být stejná amplituda původního a komplementárního signálů. Zde nastává problém, protože akustický signál se na nástupišti šíří do všech směrů. Energie vyzařovaného signálu tak klesá úměrně ploše povrchu koule vzdálenosti od zdroje (tedy druhou mocninou) [1]:

$$E(r) = \frac{E_1}{4\pi r^2} \quad (2)$$

kde: E ... energie signálu,
 r ... vzdálenosti od zdroje,
 E_1 ... E ve vzdálenosti 1m od zdroje.

Amplituda A takového signálu klesá nepřímo úměrně vzdálenosti od zdroje ($E = A^2$). Pro praxi tato omezení znamenají, že pokud chceme potlačit signál z bodového zdroje dalším bodovým zdrojem, bude muset být orientován stejným směrem, umístěn za nástupišťem a i přesto, že bude mít druhý zdroj poměrnou amplitudu, tak k potlačení odražené vlny dojde pouze v jedné vzdálenosti akustické vlnové dráhy.

3 Experiment

Pro ověření úvah z kapitoly 2 a demonstraci vlnových vlastností zvuku jsme navrhli a připravili experiment. Pro realizaci jsme se rozhodli použít snadno dostupná vybavení:

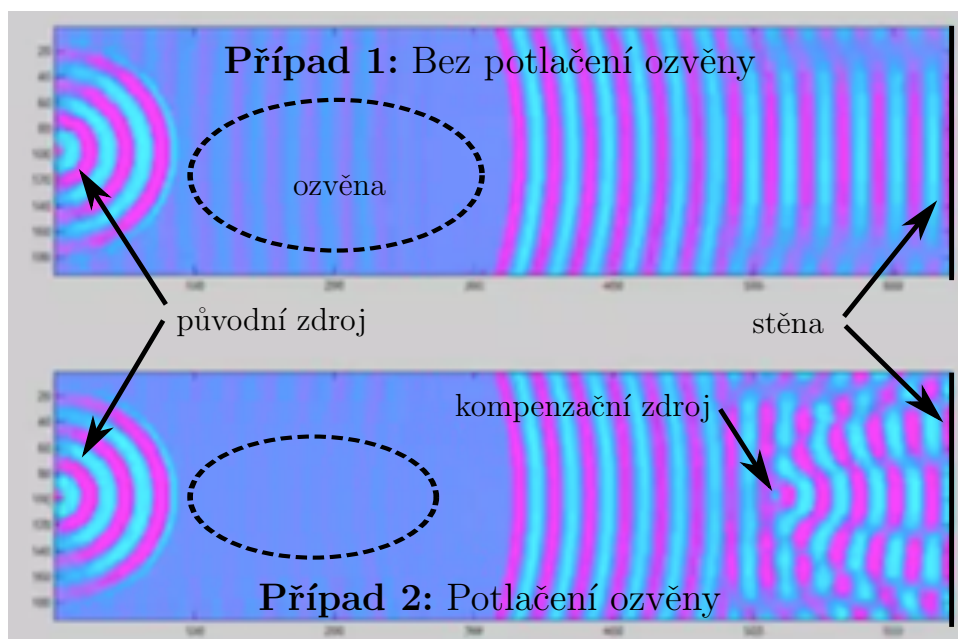
- počítač s běžnou zvukovou kartou (dvou kanálový výstup a jedno kanálový vstup)
- dva reproduktory, mikrofon
- přibližně 40 metrů stíněného kabelu

Kabel byl rozbělen na dvě větve (1 metr a 40 metrů). Obě větve spojuje konektor do výstupu zvukové karty. Každá větev je pak zakončena konektorem do reproduktoru. Z každého reproduktoru zní jiný kanál stereofonní zvukové karty. První reproduktor se nachází na začátku dlouhé chodby a představuje zdroj signálu, jehož ozvěnu chceme potlačit. Druhý reproduktor je umístěn před koncem chodby a slouží jako zdroj komplementárního signálu. Jednotlivé signály jsou řízeny z programu v počítači.

Ten potřebuje ale také znát dobu šíření signálu od prvního reproduktoru k druhému. K tomu slouží zmíněný mikrofon. Z obou reproduktorů se vyšle zvukový impulz o jiném tónu. Mikrofon zachytí jejich odraz a programem se vyhodnotí posun obou tónů, čímž se získá zmíněná doba šíření. Mikrofon navíc slouží k vyhodnocení experimentu.

V realizaci experimentu vystupuje hodně parametrů (např. nastavení zesilovačů v reproduktorech, jejich umístění, vzorkovací frekvence mikrofonu a další. Z tohoto důvodu jsme vytvořili simulaci, na které jsme ověřili vhodné nastavení. Navíc grafické zobrazení simulace posloužilo jako vhodná demonstrace našeho záměru.

Jako software pro simulaci i řízení experimentu jsme zvolili MATLAB. Umožňuje totiž snadný přístup ke zvukové kartě a generování signálu bez potřeby pokročilých programátorských dovedností. Oba skripty pro simulaci i pro experiment jsou na požádání k dispozici.



Obrázek 1: Simulace. Horní část zobrazuje šíření signálu chodbou s ozvěnou vznikající z odrazu od stěny. Ve spodní části je přidán kompenzační zdroj, který vyšle kompenzační signál. Ve vyznačené oblasti ozvěna zanikne.

4 Závěr

Z měření doby šíření signálu vyplynulo, že signál kompenzačního zdroje by měl být zpožděn přibližně o 3740 vzorků, což při vzorkování 48000 s^{-1} znamená 0,0779 s. Takovou hodnotu můžeme považovat za správnou, protože podle rychlosti zvuku (viz kap. 2) odpovídá tato doba vzdálenosti 25,7 metrů, což je přibližně vzájemná vzdálenost mezi re-produkty.

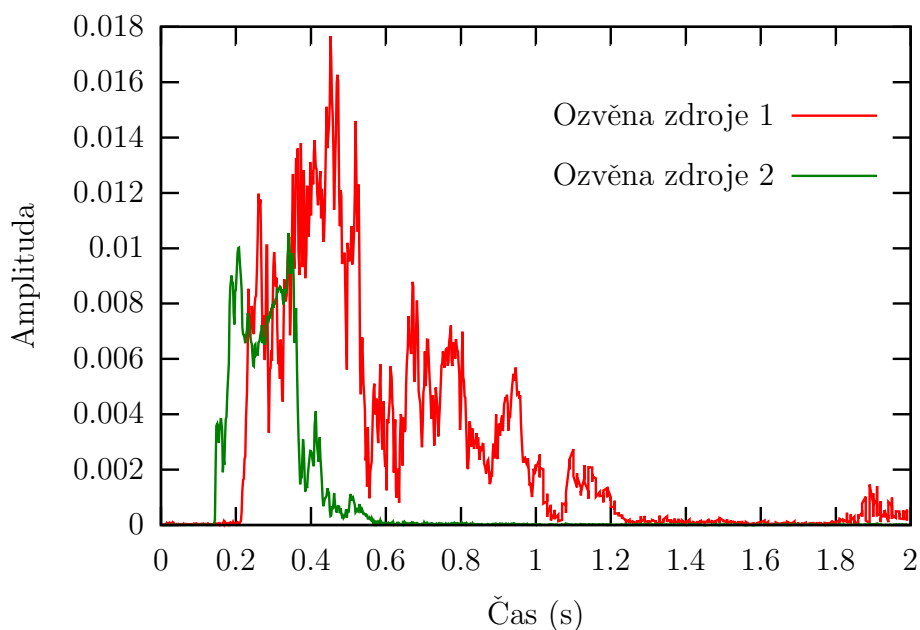
O to více je zajímavý výsledek experimentu zobrazený na obrázku 3, který zobrazuje generovaný a nahraný (skutečný) signál. U druhého a třetího impulsu se signál jakoby „předbíhá“, pokud by se zpožďoval, byl by ještě jeden impuls u 3,5 s. Vysílaný a nahraný signál jsou v grafu zřejmě posunuty, přitom se vysílání spustí až po spuštění nahrávání.

Řešením je sestavit experiment znovu. Nahrát odezvu bez potlačení ozvěny a poté s potlačením ozvěny, navíc do potlačovaného signálu přidat odlišný tón jako referenci (jako při měření doby šíření).

Reference

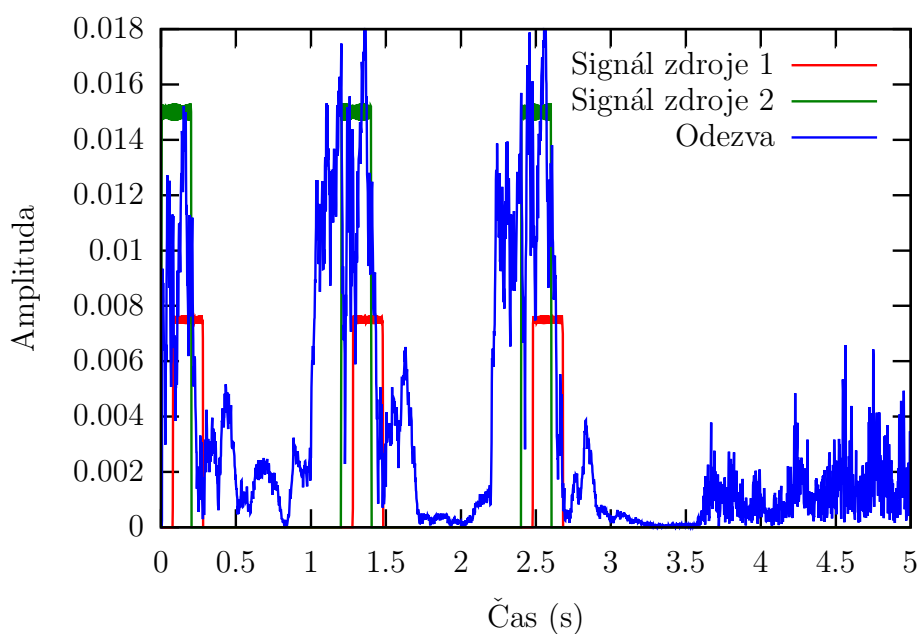
- [1] HORÁK, Zdeněk a František KRUPKA. *Fyzika: příručka pro vysoké školy technického směru*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1976, 1128 s.
- [2] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2000, xxiv, 1198, [52] s. ISBN 80-214-1869-9.

Měření doby šíření signálů ze zdrojů



Obrázek 2: Graf zobrazuje časový průběh amplitud signálů z obou zdrojů. Signály byly vyfiltrovány z nahrávky. Je patrné, že signál z druhého zdroje urazil kratší cestu a mikrofon jej zachytil dříve.

Nahrávka potlačení ozvěny



Obrázek 3: Graf zobrazuje časový průběh amplitud signálů pro oba zdroje a odezvy nahrané mikrofonem.