

# Optimalizační metody pro lokalizaci zdroje hluku

Iveta Petrášová

Katedra teoretické elektrotechniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

ipetraso@kte.zcu.cz

## Optimization Methods for the Noise Source Localization

**Abstract** – Optimization methods are used for solving problem in a large number of disciplines. This paper deals with the use of optimization methods for localization the known noise source. The calculation was performed using several optimization methods. The localization of the noise source is a task for dimensional optimization, it can be assumed that the most useful methods for the calculation are methods based on gradient approximation. In this case, the computational difficulty of each method will be compared.

**Keywords** – Gradient – free method; Noise source localization; Optimization; Sound pressure level

### I. ÚVOD

Optimalizační metody dnes využíváme pro řešení problémů ve velké řadě disciplín. Tento článek je zaměřen na využití optimalizačních metod k určení neznámé polohy zdroje hluku. Výpočet byl proveden postupně několika optimalizačními metodami. V programu COMSOL Multiphysics 5.3 lze k optimalizaci využít metody založené na aproximaci gradientu (tzv. gradient – free methods) nebo metody s analytickým výpočtem gradientu (tzv. gradient – based methods). Vzhledem k tomu, že lokalizace polohy zdroje hluku představuje úlohu pro rozměrovou optimalizaci, lze uvažovat, že nejvhodnějšími metodami pro výpočet budou první zmíněné metody. Tyto metody jsou poměrně nenáročné na nastavení, na druhou stranu je jejich výpočet poměrně zdlouhavý. V tomto případě bude porovnávána výpočetní náročnost jednotlivých metod. Pro řešení budou užity metody BOBYQA, COBYLA, Nelder – Mead, Monte Carlo a Coordinate Search. Metody s analytickým výpočtem gradientu lze využít spíše pro tvarovou či topologickou optimalizaci.

### II. MATEMATICKÝ MODEL

Při tvorbě matematického modelu lze vyjít z Newtonova pohybového zákona, rovnice kontinuity a stavové rovnice plynů pro adiabatické děje. Výslednou rovnici lze pro harmonický ustálený stav zapsat ve tvaru

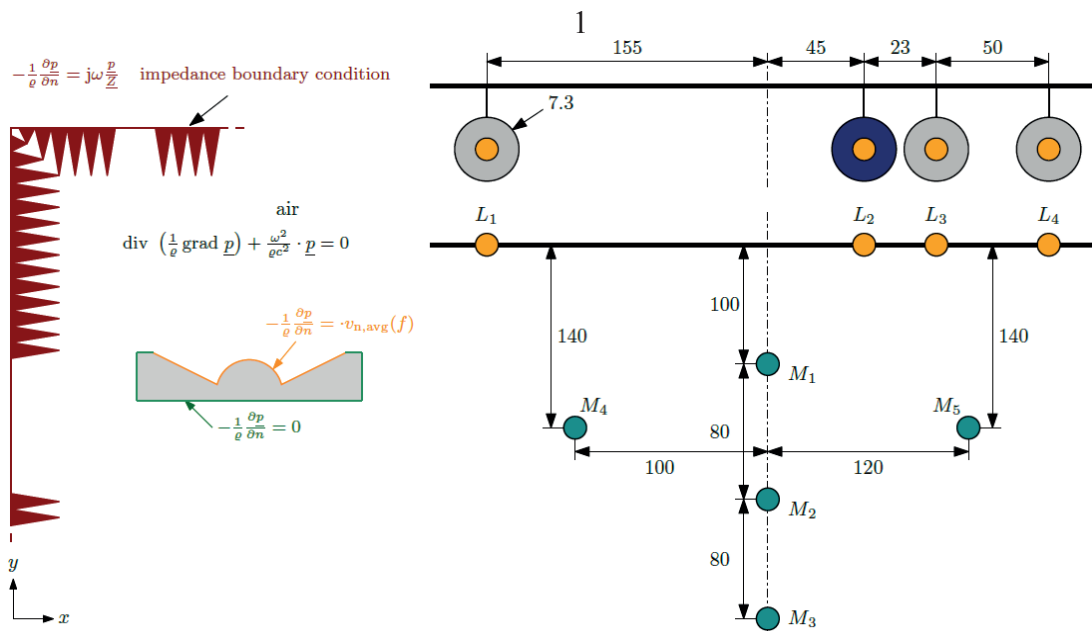
$$\operatorname{div} \left( -\frac{1}{\rho_0} (\operatorname{grad} \underline{p} - \underline{q}) \right) - \frac{\omega^2}{\rho_0 c^2} \underline{p} = Q \quad (1),$$

kde  $\rho$  označuje hustotu prostředí,  $\underline{p}$  je fázor akustického tlaku,  $c$  představuje rychlost zvuku a  $\omega$  reprezentuje úhlovou rychlost, kterou lze získat ze vztahu  $\omega = 2\pi f$ , kde  $f$  je frekvence zdroje zvuku.

### III. NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

V případě numerického řešení bylo nutno nejprve vytvořit model pro jednotlivý reproduktor a následně ověřit získané hodnoty pro hladinu akustického tlaku  $L_p$  s hodnotami naměřenými. Model byl vytvořen na základě naměřených dat normálové rychlosti pro kmitání membrány. Řešení bylo provedeno v programu COMSOL Multiphysics 5.3 v trojrozměrném prostoru s využitím frekvenční analýzy.

Pro jednoznačné řešení je potřeba definovat vhodné okrajové podmínky na hranicích oblasti. Tyto okrajové podmínky byly definovány pro membránu reproduktoru, stěny reproduktoru a stěny představující bezodrazovou komoru, viz obr. I vlevo.



**Obrázek I. Materiálové a okrajové podmínky (vlevo), umístění reproduktorů a mikrofonů (vpravo)**

### IV. ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLAD

#### A. Měření

Měření probíhalo v bezodrazové komoře o rozměrech  $6,74 \times 5,84 \times 8,14$  m. Na obr. I. (vpravo) je znázorněno rozložení reproduktorů a měřících bodů v komoře.

V tabulce I. jsou uvedeny hodnoty hladiny akustického tlaku pro reproduktor  $L_2$  v měřících místech  $M_1, \dots, M_5$  pro frekvenci  $f = 200$  Hz.

#### B. Numerický model

Pro porovnání optimalizačních metod dostupných v programu COMSOL byl výchozím reproduktorem reproduktor s hladinou akustického tlaku  $L_2$ .

TABULKA I. HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU  $L_2$

	Hladina akustického tlaku $L_2$ 200 Hz [dB]				
$f$ [Hz]	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
měření	88,2	83,7	80,3	82,9	84,4
model	89,1	85,0	81,9	83,8	85,6

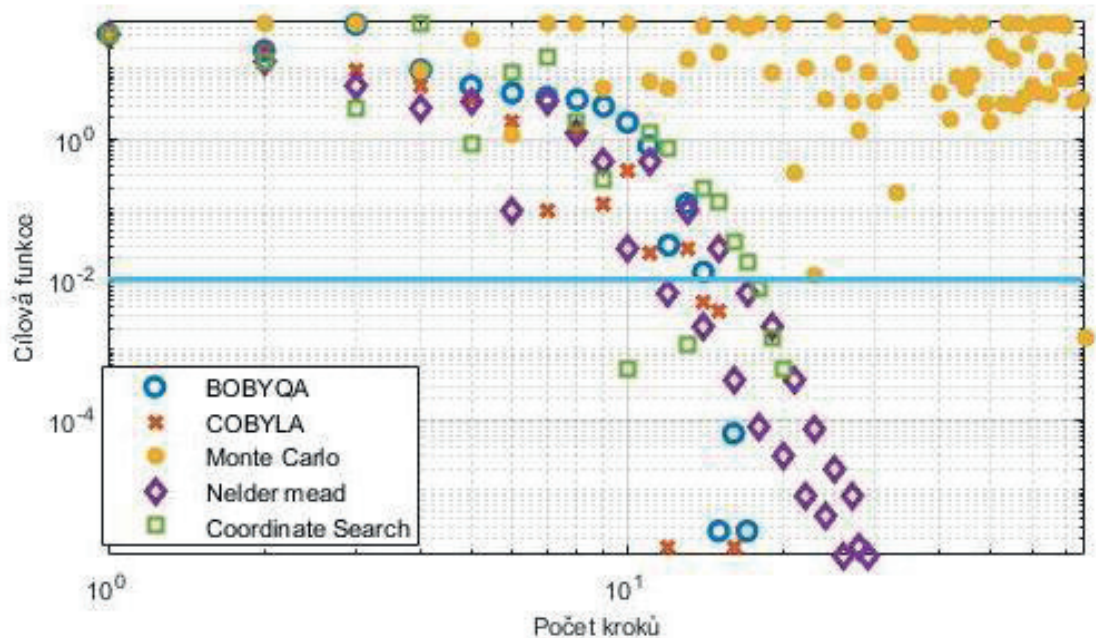
Výpočet byl proveden pro frekvenci  $f = 200$  Hz, aby bylo možné jednoduše porovnat hodnoty získané z modelu s hodnotami naměřenými, viz Tab. I.

### C. Optimalizace pozice reproduktoru

Jako parametr cílové funkce pro optimalizaci byl zvolena pozice reproduktoru v horizontální ose, což je v tomto případě souřadnice na  $x$  kartézského souřadnicového systému. Cílovou funkci záviselící na poloze reproduktoru, která bude během procesu optimalizace minimalizována, lze zapsat jako

$$f_{obj}(x) = \sum_{i=1}^5 (L_i - L_{io})^2,$$

kde  $L_i$  jsou referenční hodnoty hladiny akustického tlaku získané z kontrolního výpočtu a  $L_{io}$  hodnoty hladiny akustického tlaku získané v průběhu optimalizace.



**Obrázek II. Hodnoty cílové funkce pro jednotlivé optimalizační metody**

Na obrázku II. je znázorněno řešení pro jednotlivé optimalizační metody v závislosti na počtu kroků. Jako relevantní optimální řešení cílové funkce byla zvolena hodnota  $f_{obj} = 10^{-2}$ . Jak je z grafu patrné, jednou z nejvhodnějších metod pro určení pozice zdroje hluku jsou metody BOBYQA a COBYLA. Tyto dvě metody byly schopny v poměrně malém počtu iterací nalézt optimální řešení v porovnání s ostatními metodami. Jako nepřiliš vhodná k řešení našeho problému se jeví metoda Monte Carlo a metoda Coordinate Search, vzhledem k jejich výpočetní náročnosti a nepřiliš přesnému řešení.

## V. ZÁVĚR

Článek je zaměřen na využití optimalizačních metod k lokalizaci známého zdroje hluku. Pro tento problém vycházíme z numerického modelu známého zdroje hluku se známou rychlostí kmitání membrány. Pro porovnání bylo vycházeno z předpokladu znalosti hodnoty hladiny akustického tlaku  $L_p$  v libovolném bodě prostoru. Následná optimalizace probíhala pomocí několika optimalizačních metod založené na aproximaci

gradientu. Jednalo se o pět vybraných metod BOBYQA, COBYLA, Nelder – Mead, Monte Carlo a Coordinate Search. V tabulce II. jsou zobrazeny hodnoty pro porovnání. Vzhledem k tomu, že se jedná o metody, které jsou poměrně zdlouhavé na výpočet, porovnáváme v tomto případě hodnotu konečné cílové funkce v závislosti na počtu iterací, viz Tabulka III.

TABULKA II. HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU  $L_2$  PRO JEDNOTLIVÉ METODY OPTIMALIZACE

Metoda	Hladina akustického tlaku $L_2$ 200 Hz [dB]				
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
Referenční řešení	89,080	85,015	81,873	83,778	85,612
BOBYQA	0,001	0	0	0	0,001
COBYLA	0	0,001	0,001	0	0
Nelder – Mead	0	0,001	0	0	0
Monte Carlo	0,020	0,015	0,004	0,012	0,026
Coordinate Search	0,009	0,010	0,003	0,008	0,017

Pro konečné řešení problému lze jako nejvhodnější uvažovat první a druhou zmíněnou optimalizační metodu, které dosáhly uspokojivého výsledku v několika málo iteracích. Jako nepřilíš vhodné jsou z hlediska přesnosti a výpočetní náročnosti metody Monte Carlo a Coordinate Search. V budoucnosti by měla prezentovaná metoda posloužit pro možnost přesnější lokalizace předem neznámého zdroje hluku např. v budovách.

TABULKA III. CÍLOVÉ FUNKCE V ZÁVISLOTI NA POČTU ITERACÍ PRO JEDNOTLIVÉ OPTIMALIZAČNÍ METODY

Metoda	Optimalizační metody				
	BOBYQA	COBYLA	Nelder – Mead	Monte Carlo	Coordinate Search
$f_{obj}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Počet kroků	17	16	29	76	20

### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-043.

### LITERATURA

- [1] Teoretické základy akustiky, Academia, Praha (Česká Republika): 1976 [cit. 2018-12-9].
- [2] Kožíšek, M., Lorenc, M.: Minikurz optimalizace, COMSOL MULTIPHYSICS 2018, [cit. 2018-10-9].
- [3] Mañas, M.: Optimalizační metody, SNTL Praha, 1979, [cit. 2018-12-9].