



## METÓDY PREDIKCIE HLUKU V PRIEMYSELNÝCH PREVÁDZKACH

Zdenka BECK - Petra LAZAROVÁ - Alexandra GOGA BODNÁROVÁ

## NOISE PREDICTION METHODS IN INDUSTRIAL PLANTS

### ABSTRAKT

Tento príspevok sa zaoberá charakteristikou metód predikcie hluku v priemyselných prevádzkach. Na trhu je množstvo simulačných programov umožňujúcich modelovanie akustickej situácie, či už existujúcich alebo navrhovaných priemyselných hál. V týchto simulačných softvéroch sú pre výpočet aplikované rôzne metódy predikcie hluku. Pre adekvátne použitie metódy vo výpočte je dôležité vyznať sa v ich odlišnostiach, výhodách, nevýhodách a tak sa vyhnúť prípadným skresleným výpočtom.

**Kľúčové slová:** akustika, metódy, hluk, pracovné prostredie

### ABSTRACT

This contribution deals with the characteristics of noise prediction methods in industrial plants. On the market is the amount of simulation programs allowing modeling of acoustic situations, whether existing or proposed industrial halls. In these simulation software are applied the various methods of predicting noise to calculate. For adequate use of method in calculation is important to have an overview of their differences, advantages, disadvantages, and thus avoid possible distortions in calculating.

**Key words:** acoustics, methods, noise, working environment

### ÚVOD

Hlučnosť v našom prostredí rastie, technický pokrok si vyberá svoju daň. Stále vo väčšej miere sú prekračované hranice zdravotnej únosnosti a zvlášť v niektorých ľudských činnostiach začínajú mať aj trvalé následky na sluch a organizmus vôbec. Aby sme podobným negatívnym javom predchádzali je nutné už v zárodku (v štádiu plánov) na problematiku hluku pamätať a vykonávať vhodné akustické úpravy. Pre vytvorenie programov umožňujúcich simulovať akustické javy v priemyselnom interiéri je potrebná vhodná voľba matematickej simulácie.

Matematické modely sú založené na možnostiach:

- vlnovej akustiky,
- geometrickej akustiky
- štatistickej akustiky. [4]

### CHARAKTERISTIKA VLNOVEJ AKUSTIKY

- Teória akustického poľa uzatvorených priestorov.
- Množina riešení, nevyhnutná ak vlnové dĺžky zvukových vln sú porovnateľné s rozmermi miestnosti.
- Vlnová teória akustického poľa vychádza z matematického modelovania chovania sa vlny v uzatvorenom priestore – vlnové rovnice, vychádzajúce z lineárnej akustiky (linearizované Eulerove rovnice):
  - Pohybových rovníc (zákon zachovania hybnosti).
  - Stavových rovníc (zákon zachovania stavu).
  - Rovníc continuity (zákon zachovania hmoty).
- Riešenie vedie na nehomogénne parciálne diferenciálne rovnice riešiteľné len pre určité okrajové podmienky (napr. pravouhlé súradné systémy, určitý typ budiaceho signálu a pod.).
- Výsledky popisujú chovanie sa priestoru z hľadiska jednotlivých frekvencií v priestore a čase.
- Akustické veličiny sú funkciou polohy bodu a času – vieme parametre v určitom bode priestoru, ale nie vlastnosti skúmanej miestnosti (hodnoty sa bod od bodu líšia).

Jeden z jednoducho použiteľných záverov: riešenie módov priestoru. [2]

### CHARAKTERISTIKA GEOMETRICKEJ AKUSTIKY

- Veľké a najmä nepravidelné priestory – vlnová akustika nedáva jednoducho dosiahnuteľné výsledky.
- Použitá analógia s teóriou optiky – zvuk reprezentujú zvukové lúče (papršky, úzke výseky guľovej zvukovej vlny).
- Dĺžka vlny musí byť podstatne menšia ako rozmery priestoru.
- Lúče sa odrážajú od priestorových prvkov v súlade so základnými pravidlami mechaniky/optiky.

Predpokladá sa:

- priamočiare šírenie zvukových lúčov,
- platnosť Snellovho zákona (uhol dopadu = uhol odrazu),
- superpozícia energie pri sčítaní príspevkov výkonov lúčov dopadajúcich súčasne do skúmaného bodu priestoru – energetické hľadisko šírenia zvukovej vlny,



- pri dopade veľkého množstva lúčov rôznych intenzít z rôznych smerov predpokladáme rovnomerné rozloženie amplitúd v priestore a ich náhodné fázy (difúzne zvukové pole, umožňuje zanedbať interferencie a ohyb vln),
- zvuková energia sa sčíta/pohlucje/odráža – činiteľ odrazu/pohltivosti plochy (priestoru).

Geometrická akustika silne zjednodušuje mechanizmy šírenia zvuku, ale je veľmi často používaná v technickej praxi (návrh priestorov a ich úpravy, dozvuk a jeho úpravy, merania a pod.). [2]

### CHARAKTERISTIKA ŠTATISTICKEJ AKUSTIKY

Na rozdiel od vlnovej akustiky pracuje s priemernými hodnotami výkonových veličín akustického poľa:

- Hustota zvukovej energie.
- Intenzita zvuku.

Predpoklady:

- veľkosť energie zvukového poľa v ľubovoľnom bode skúmaného uzatvoreného priestoru je daná súčtom stredných hodnôt energií, dopadajúcich do skúmaného bodu odrazom od stien,
- hustota zvukovej energie je vo všetkých bodoch priestoru rovnako veľká,
- uhly, pod ktorými dopadá zvuková energia do daného bodu sa vyskytujú s rovnakou pravdepodobnosťou. [2]

### METÓDY PREDIKCIE HLUKU V PRIEMYSELNÝCH HALÁCH

Vo všeobecnosti sa pri tvorbe predikčných modelov uplatňujú dva rozdielne prístupy, výsledkom ktorých je:

- Vytvorenie empirických modelov,
- Odvodenie teoretických modelov.

Empirické modely sú založené na experimentálnych údajoch. Z nameraných hodnôt jednotlivých akustických deskriptorov sa prostredníctvom metód štatistického modelovania odvodí empirické rovnice.

Na rozdiel od empirických modelov sú teoretické modely odvodené z princípov vlnovej, ale hlavne geometrickej a štatistickej akustiky. Mnohé z nich sa stali základom výpočtových algoritmov softvérových nástrojov, ktoré sa využívajú pri tvorbe simulačných modelov akustických charakteristík priemyselných hál. V minulosti sa na akustickú simuláciu priestorov priemyselných hál používali aj merania uskutočnené vo fyzických modeloch vytvorených v určitej miere, ale vzhľadom na ich časovú a finančnú náročnosť v porovnaní s počítačovou simuláciou sa tento spôsob v súčasnosti používa len vo veľmi malej miere. .

V nasledovnej časti je uvedený základný prehľad teoretických modelov a ich základné princípy. [1]

### METÓDY DIFÚZNEHO POĽA

Predikcia hluku s týmito metódami je relatívne jednoduchá: hladina akustického tlaku v ľubovoľnom bode sa získa súčtom príspevkov priamych a odrazených polí, pričom odrazené pole sa považuje za difúzne. Umiestnenie, emisia zdrojov hluku a celková absorpcia v miestnosti sú jedinými vstupnými parametrami, ktoré sa vyžadujú na predikciu hladín akustického tlaku podľa týchto metód (STN EN ISO 11690-3, 2000). Medzi najvýznamnejšie výpočtové modely patria Sabinov a Eyringov vzťah:

$$L_p(r) = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (1)$$

kde:

$L_p(r)$  - hladina akustického tlaku vo vzdialenosti  $r$  od zdroja hluku [dB],  $L_w$  - hladina akustického výkonu zdroja [dB],  $Q$  - činiteľ smerovosti zdroja hluku,  $R$  - konštanta miestnosti =  $A/(1 - \alpha_d)$  [ $m^2$ ],  $A$  - celková zvuková pohltivosť miestnosti ( $A_E = -S \ln(1 - \alpha_d) + 4mV$  (Eyring),  $A_S = \alpha_d S + 4mV$  (Sabina) [ $m^2$ ]),  $\alpha_d$  - priemerný koeficient zvukovej pohltivosti,  $r$  - vzdialenosť od zdroja hluku [m],  $m$  - súčiniteľ pohltivosti zvuku vo vzduchu [ $m^{-1}$ ],  $V$  - objem miestnosti [ $m^3$ ],  $S$  - celkový plošný obsah miestnosti [ $m^2$ ].

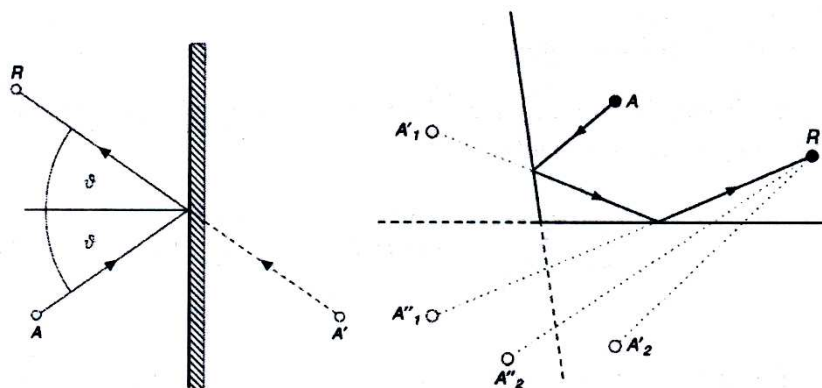
Obmedzené použitie metód difúzneho poľa pri predikcii hluku v priestoroch priemyselných hál spočíva v tom, že zvukové pole v týchto priestoroch nie je možné vo všeobecnosti považovať za difúzne vzhľadom na nasledovné skutočnosti:

- tvary priemyselných hál charakterizované pomerom dĺžky-šírky-výšky majú zvyčajne pomer ľubovoľných dvoch rozmerov väčší ako tri,
- priestor haly zvyčajne nie je prázdny, ale je zaplnený inventárom, ktorý spôsobuje rozptyl a absorpciu zvuku,
- pohltivosť povrchov haly (podlaha, obvodové steny, strop) je väčšinou rozložená obzvlášť nerovnomerne.

Ak je cieľom predikcie hodnotenie expozície hluku, môžu sa metódy difúzneho poľa použiť ako prvý krok hodnotenia. V prípade, že predikciou stanovené hodnoty určujúcich veličín prekročia limitné, resp. akčné hodnoty, je potrebné použiť presnejšie metódy. [1]

## METÓDA ZRKADLOVÝCH ZDROJOV (MIRROR IMAGE SOURCES METHOD)

Metóda je založená na predpoklade, že spekulárne (uhly dopadu a odrazu sú rovnaké) Odrazy zvukovej vlny od povrchov miestnosti môžu byť nahradené obrazom zdroja. Zrkadlením skutočného zdroja na ohraničujúcich plochách vznikajú zrkadlové zdroje prvého rádu a následne ich zrkadlením vznikajú zdroje vyšších rádo (viď obr. 1). Celkový počet zdrojov rastie exponenciálne s počtom odrazov. [1]



Obr. 1 Princíp metódy zrkadlových zdrojov [1]  
 A - originálny zdroj, A' - zrkadlový zdroj prvého rádu, A'' - zrkadlový zdroj druhého rádu

### Princíp metódy zrkadlových odrazov:

- Založená na zákone odrazu (Schnellov zákon, uhol odrazu = uhol dopadu)
- Výpočet polohy virtuálnych zrkadlových zdrojov zvuku za odrazivou plochou
- Zdroj zvuku je vždy bodový, prijímač zvuku je bodový
- Dĺžka vektora zvukového lúča = oneskorenie signálu a fáza
- Odrazivosť/pohltivosť a smerové vlastnosti odrazivej plochy, určujú relatívne množstvo energie prichádzajúcej zo zdroja
- Výpočet prebieha pre všetky odrazy, pokiaľ hodnota energie odrazu neklesne pod prahovú hodnotu (napr. prah počutia)
- Pre všetky požadované miesta príjmu sa vytvára obraz odrazov – reflektogram
- Následne sa stanoví impulzová odozva priestoru a z nej štandardne požadované parametre.
- Nevýhoda – v priebehu simulácie exponenciálne narastá počet virtuálnych zdrojov, preto je vhodná len na malé priestory alebo sa kombinuje s inými metódami. [3]

Ako príklad použitia metódy zrkadlových zdrojov pri predikcii hluku v priemyselných halách je v nasledovnej časti uvedený výpočtový algoritmus počítačového programu SoundPlan, ktorý je odvodený od Kuttruff – Jovicicovho modelu štandardizovaného v nemeckej norme VDI 3760. Výpočet hladiny akustického tlaku zohľadňuje geometrické a akustické parametre miestnosti, akustický výkon zdrojov hluku, množstvo rozptylových telies ako aj pohltivosť ich povrchov. Výpočet je rozdelený na dve časti - priama zložka sa vypočíta podľa vzťahu:

$$E_D = \left( \frac{P}{4\pi cr^2} \right) e^{-(q+m)r} \quad (2)$$

kde:

P - akustický výkon zdroja, q - hustota rozptylových prvkov, c - rýchlosť zvuku, r - vzdialenosť zdroja, m - súčiniteľ pohltivosti vzduchu. [1]

Rozptýlená zložka sa stanoví z rovnice:

$$E_S = \left( \frac{3qP}{4\pi cr} \right) e^{-r\sqrt{3q\alpha}} \quad (3)$$

kde:

$\alpha$  - celkový súčiniteľ pohltivosti. [1]

Výsledná hladina akustického tlaku v ľubovoľnom mieste miestnosti predstavuje súčet priamej a rozptýlenej zložky:

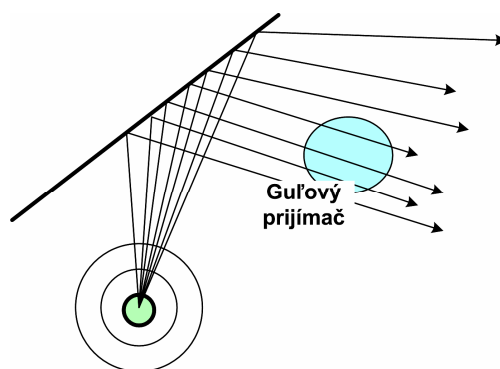
$$E_{Ges} = \sum_{n_x=-\infty}^{n_x=+\infty} \sum_{n_y=-\infty}^{n_y=+\infty} \sum_{n_z=-\infty}^{n_z=+\infty} \rho_{nx} \rho_{ny} \rho_{nz} E_D + \sum_{n_x=-\infty}^{n_x=+\infty} \sum_{n_y=-\infty}^{n_y=+\infty} \rho_{nx} \rho_{ny} E_S \quad (4)$$

kde:

p - koeficient zvukovej pohltivosti stien. [1]

### METÓDA SLEDOVANIA LÚČA (RAY TRACING METHOD)

Metóda je založená na nasledovnom princípe: z bodového zdroja je generované množstvo zvukových lúčov a následne sa sleduje trajektória šírenia resp. odrazov každého z nich. Terminácia lúča je determinovaná buď počtom odrazov alebo na základe úbytku jeho energie. Presnosť výsledkov predikcie závisí od počtu sledovaných lúčov - čím je počet sledovaných lúčov vyšší, tým sú výsledky predikcie presnejšie. [1]



Obr. 2 Princíp metódy sledovania lúča [3]

#### Princíp metódy sledovania lúča:

- Princíp šírenia svetelného lúča – len vyššie frekvencie (min. 500 Hz)
- V oblasti nižších frekvencií korekcia presnosti
- Generovanie množstva zvukových lúčov z bodového zdroja (náhodne, algoritmom)
- Rovnomerné rozdelenie lúčov okolo zdroja
- Prijímače – priestorové útvary (gule – najčastejšie, všesmerová štruktúra, kocky,...) do ktorých lúče prenikajú
- Priestor sa rozdelí na kocky, prijímač väčší ako kocka
- Vytvorenie akustickej mapy
- Počíta sa akustický tok, ktorý „prejde“ guľovým prijímačom. [3]

Ako príklad použitia metódy sledovania lúčov pri predikcii hluku v priemyselných halách je v nasledovnej časti uvedený predikčný model, ktorý vytvorili Ondet a Barbly (1989) a bol implementovaný do viacerých simulačných programov (napr. RAYSCAT, RAYCUBE, DRAYCUBE). Hladina akustického tlaku sa vypočíta podľa vzťahu:

$$SPL = \sum \frac{W_{ray}}{NV} D e^{iHR_{ray}} \quad (5)$$

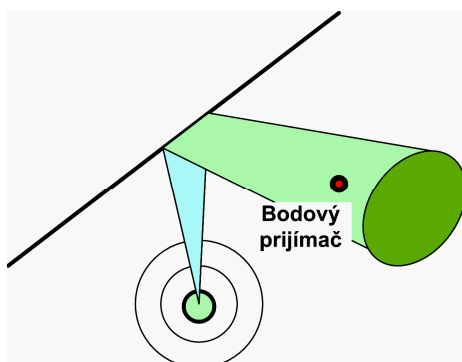
kde:

$W_{ray}$  - celkový akustický výkon, N - počet zvukových lúčov, V - objem priestoru príjemcu, D - dĺžka dráhy pri prechode lúča objemom priestoru príjemcu, H - frekvenčne závislý koeficient zvukovej pohltivosti vzduchu,  $R_{ray}$  - dĺžka dráhy pri prechode lúča od zdroja k príjemcovi. [1]

### METÓDA SLEDOVANIA OBJEMOVÉHO LÚČA (BEAM TRACING METHOD)

Metóda je modifikáciou metódy sledovania lúča: zo zdroja je emitované veľké množstvo lúčov v tvare kužeľa (z ang. cone tracing) alebo ihlanu (z ang. pyramid tracing) a následne sa sledujú trajektórie ich osí. Na rozdiel od metódy sledovania lúča,

pri ktorej je príjemca modelovaný prostredníctvom sférického tvaru (objemom), predstavuje príjemca v metóde sledovania objemového lúča bodový tvar, čo umožňuje jeho presnejšie pozicionovanie a teda aj vyššiu presnosť výpočtu. [1]

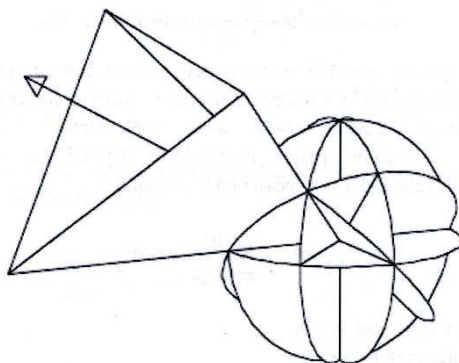


Obr. 3 Princíp metódy sledovania objemového lúča [3]

**Princíp metódy sledovania objemového lúča:**

- Patrí do lúčových objemových metód – bodový zdroj vysiela priestorový zväzok lúčov, ktorý sa odráža od stien a dopadá na bodový prijímač
- Minimalizácia exp. nárastu zrkadlových zdrojov použitím bodového prijímača
- Najčastejšie používaná varianta – formovanie objemu lúčov do kužeľa pod rôznymi uhlami – (Cone Tracing)
- Nevýhody: kužele nepokrývajú celý povrch zdroja alebo sa prekrývajú – nutnosť korekcií [3]

Ako príklad použitia metódy sledovania objemového lúča pri predikcii hluku v priemyselných halách je v nasledovnej časti uvedený výpočtový algoritmus počítačového programu RAMSETE, ktorý využíva princíp pyramid tracing-u (obr. 4).



Obr. 4 Tvorba objemového lúča na základe izotropnej bisekcie guľovej plochy [1]

Množstvo detegovaných impulzov za stanovený čas  $t$  sa vypočíta podľa vzťahu:

$$n(t) = \frac{4\pi c_0^3 t^2}{V} \left( 1 - e^{-\frac{l_{cm}^2 N}{4c_0^2 \beta t^2}} \right) \tag{6}$$

kde:

$c_0$ - rýchlosť zvuku vo vzduchu,  $V$ - objem miestnosti,  $l_{cm}$  - dĺžka minimálnej voľnej dráhy,  $N$  - počet sledovaných lúčov,  $B$ - koeficient šírky lúča. [1]

Celková akustická intenzita  $I$  sa stanoví zo vzťahu:

$$I = \frac{W Q_v}{4\pi (r_{1,tot} + r_2)^2} \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i) e^{-\gamma I (r_{1,tot} + r_2)} \tag{7}$$

kde:

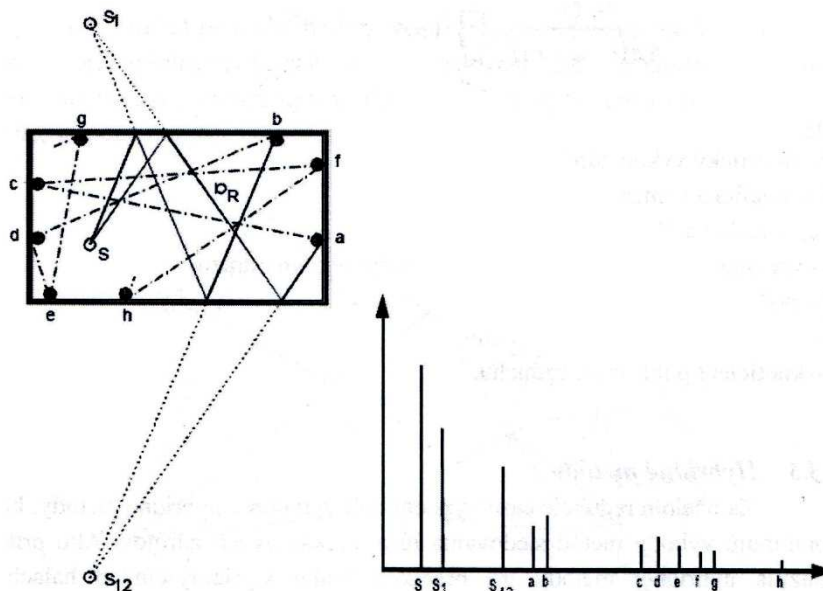
$W$  - akustický výkon zdroja,  $Q$  - koeficient smerovosti,  $r_{1,tot}$ — celková dĺžka dráhy lúča,  $r_2$  - vzdialenosť medzi príjemcom a ostatným bodom odrazu,  $N$  - počet sledovaných lúčov,  $\alpha$  - koeficient pohltivosti povrchov,  $\gamma$  - koeficient pohltivosti vzduchu.

Mnohé simulačné programy používajú kombináciu metódy zrkadlových zdrojov a lúčovej metódy (simulácia prvotných odrazov), neskoršie odrazy používajú modifikované lúčové metódy emulujúce sekundárne odrazy od povrchov – koeficientom sa dá meniť pomer týchto metód. [1]

### HYBRIDNÉ METÓDY

Za účelom redukcie času výpočtu boli vytvorené hybridné metódy, ktoré kombinujú výhody metód sledovania lúča a zrkadlových zdrojov. Ako príklad použitia hybridnej metódy pri predikcii hluku v priemyselných halách je v nasledovnej časti opísaný výpočtový algoritmus počítačového programu ODEON. Impulzové odozvy bodových zdrojov sú vypočítané použitím hybridnej metódy, v ktorej sú v prvom kroku spojením metód zrkadlových zdrojov a sledovania lúča stanovené „skoré“ odrazy. V tejto časti simulácie sú lúče vysielané zo zdroja za účelom detekcie potenciálnych zrkadlových zdrojov.

Zakaždým po detekcii zrkadlového zdroja sa príslušná odrazivá plocha začne správať ako zdroj, ktorý vyšle určitý počet rozptýlených lúčov a informácie o ich trajektóriách a počte identifikovaných zrkadlových zdrojov sú ukladané. Rozptýlené lúče sú odrážané jednotlivými povrchmi miestnosti až do definovanej hodnoty prechodového stavu (z angl. transient order). Následne sú prostredníctvom špeciálnej metódy sledovania lúča (ray-radiosity), ktorá generuje sekundárne zdroje vyžarujúce energiu lokálne z povrchov stien, determinované „neskoré“ odrazy. Na obr. 5 sú dva susedné lúče sledované až po šiestu úroveň odrazu. Hodnota prechodového stavu je nastavená na úroveň 2, takže pri prekročení uvedenej hodnoty bude smer odrazu lúčov stanovený náhodným výberom z rozdelenia podľa Lambertovho zákona. Prvé dva odrazy sú zrkadlové a oba lúče identifikovali zrkadlové zdroje  $S_1$  a  $S_2$ . V rámci odozvy každý z uvedených zrkadlových zdrojov umožňuje vznik jedného odrazu, keďže oba zdroje sú z miesta príjemcu viditeľné. Avšak v prípade zložitejšieho tvaru miestnosti to nemusí platiť pre všetky zrkadlové zdroje. [1]



Obr. 5 Princíp hybridného modelu v programe ODEON: lúče vytvárajú obrazy zdrojov pre skoré odrazy a sekundárne zdroje na stenách pre neskoršie odrazy. Vpravo je znázornený príslušný reflektogram. [1]

### METÓDA KONEČNÝCH PRVKOV (FINITE ELEMENT METOD - FEM)

#### Princíp metódy konečných prvkov:

- Veľmi často používaná metóda v mechanike a stavebnej mechanike
- V posudzovanom priestore sa vytvorí sieť bodov (okrem geometrického modelu miestnosti treba zostaviť aj sieť)
- Jednotlivé prvky (jedno, dvoj alebo troj rozmerné) sú zostavené z týchto bodov
- Body, ktoré vytvárajú základnú štruktúru (hranice) prvkov sú uzlové a môžu byť i na stenách alebo vnútri prvku
- Steny prvkov sú krivky (lineárne, kvadratické)
- Pre uzlové body sa riešia funkčné hodnoty napr. sústavou diferenciálnych rovníc
- V akustike min. 6 prvkov na vlnovú dĺžku – len menšie priestory [3]

### METÓDA OKRAJOVÝCH PRVKOV (BOUNDARY ELEMENT METHOD - BEM)

#### Princíp metódy okrajových prvkov:





- Plochy ohraničujúce skúmaný priestor sa rozdelia na čiastkové oblasti
- Každá oblasť sa považuje za zdroj zvuku, ktorý prispieva k celkovej impulzovej odozve
- Počíta sa príspevok od čiastkových drobných zvukových plôch v mieste posluchu [3]

Metódy **FEM** a **BEM** sú veľmi presné, ale vyžadujú extrémny výpočtový výkon, používajú veľké množstvo iterácií a numerických metód.

#### Použitie:

- Ak nemôžeme použiť lúčové techniky (veľká vlnová dĺžka)
- Ak treba simuláciu s ohľadom na presné vlnové dĺžky
- Simulácie prenosovej funkcie hlavy (HRTF, Head Related Transfer Function), špeciálne tam, kde merania HRTF sú komplikované
- Výsledkom simulačných metód sú hodnoty súvisiace s časovou distribúciou zvuku v jednotlivých miestach priestoru ako ekvivalent reálne nameraných hodnôt (časy dozvuku, parametre jasnosti, priestorovosti, zreteľnosti, ťažiska energie,...) [3]

#### ZÁVER

Príspevok tvorí teoretickú časť zaoberajúcu sa metódami predikcie hluku v pracovnom prostredí, ktoré sú implementované v softvérových produktoch pre tvorbu hlukových máp interiéru. Jeho cieľom je poukázať na dôležitosť porozumenia rozdielnostiam, výhodám i nevýhodám týchto metód a to predovšetkým pre správne použitie metódy vo výpočte, čím by sa dalo vopred vyhnúť chybám a nepresnostiam vo výpočtoch.

#### POĎAKOVANIE

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0432-12 a v rámci projektu VEGA 1/1216/12.*

#### ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] DADO, M. – HNILICA, R.? Predikcia hluku v pracovnom prostredí. Zvolen: TU vo Zvolene, 2012. 64 s. ISBN 978-80-228-2370-8.
- [2] VACULÍK, M.: Priestorová akustika. [online]. Žilina: Katedra telekomunikácií a multimédií EF ŽU. [cit. 2013-11-25]. Dostupné na internete: <[http://kt.uniza.sk/ktam/download/Studijne\\_materialy/Multimedia/Priestorova\\_akustika/PRAK01.pdf](http://kt.uniza.sk/ktam/download/Studijne_materialy/Multimedia/Priestorova_akustika/PRAK01.pdf)>.
- [3] VACULÍK, M.: Priestorová akustika. Simulácia akustických vlastností priestoru. [online]. Žilina: Katedra telekomunikácií a multimédií EF ŽU. [cit. 2013-11-25]. Dostupné na internete: <[http://kt.uniza.sk/ktam/download/Studijne\\_materialy/Multimedia/Priestorova\\_akustika/PRAK01.pdf](http://kt.uniza.sk/ktam/download/Studijne_materialy/Multimedia/Priestorova_akustika/PRAK01.pdf)>.
- [4] NOVÁK, J.: Matematické modely popisující šíření hluku. [online]. Liberec: Ekosoft.. [cit. 2013-11-20]. Dostupné na internete: <<http://ekosoft.byl.cz/clanky/modely.htm>>.

#### ADRESY AUTOROV:

**Ing. Zdenka BECK**, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park J.A. Komenského 5, 042 00 Košice, e-mail: [zdenka.kluknavska@tuke.sk](mailto:zdenka.kluknavska@tuke.sk).

**Ing. Petra LAZAROVÁ**, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park J.A. Komenského 5, 042 00 Košice, e-mail: [petra.lazarova@tuke.sk](mailto:petra.lazarova@tuke.sk).

**Ing. Alexandra GOGA BODNÁROVÁ**, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park J.A. Komenského 5, 042 00 Košice, e-mail: [alexandra.bodnarova@tuke.sk](mailto:alexandra.bodnarova@tuke.sk).

#### RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

*Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.*

#### REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

*Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.*