

# THE INFLUENCE OF AN ISOLATED ACOUSTIC RESONATOR WITH A CROSS-SHAPED SLIT ON SOUND ABSORPTION

V. Stauskis

To cite this article: V. Stauskis (1998) THE INFLUENCE OF AN ISOLATED ACOUSTIC RESONATOR WITH A CROSS-SHAPED SLIT ON SOUND ABSORPTION, *Statyba*, 4:2, 148-154, DOI: [10.1080/13921525.1998.10531395](https://doi.org/10.1080/13921525.1998.10531395)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1998.10531395>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 37

---

## VIENETINIO KRYŽIAUS FORMOS AKUSTINIO REZONATORIAUS TŪRIO KITIMO ĮTAKA GARSO ABSORBCIJAI

V. Stauskis

### 1. Įvadas

Viena didžiausių architektūrinės akustikos problemų yra difuzinio garso lauko salėje formavimas. Tai yra būtina tam, kad visose salės vietose muzika skambėtų vienodai. Jeigu garso lauko slopimas nebus eksponentinis, tai klausytojai iš įvairių salės vietų muzikos skambėjimą suvoks labai skirtingai. Tyrimai rodo, kad pasiekti eksponentinį garso lauko slopimą visose klausytojų vietose yra labai sunku. Tam salėje būtina reikia numatyti struktūrinius skirtingų geometrinių parametrų elementus, kurie gerai išsklaidytų labai svarbius žemojo ir vidutinio dažnio garsus.

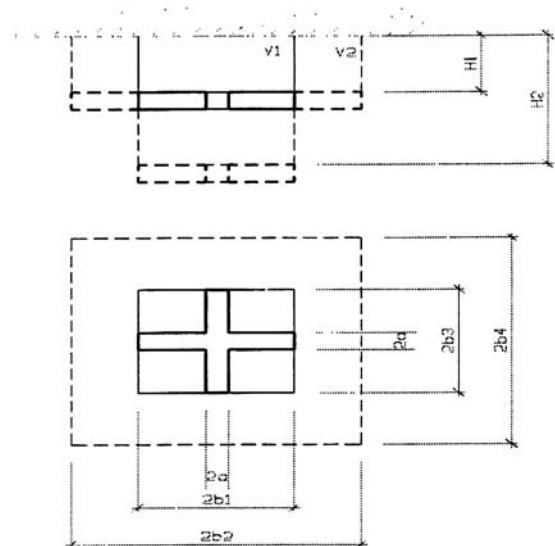
Be difuzinio garso lauko, salės akustikai taip pat labai svarbus yra jos reverberacijos laikas ir jo dažnių charakteristika. Šį laiką galime formuoti naudodami įvairias garsą absorbuojančias medžiagas ar konstrukcijas. Perspektyvūs vienetiniai akustiniai rezonatoriai, kuriuos sudaro kietos garsą atspindinčios medžiagos su įvairios formos ir įvairaus pločio plyšiais. Tai yra nauja akustinė konstrukcija, kurios privalumas yra tas, kad ji gerai absorbuoja labai svarbius žemojo ir vidutinio dažnio garsus ir kartu išsklaido žemojo dažnio garsus, tuo padidindama garso lauko difuziškumą, kas, kaip minėta, yra labai svarbu.

Vienetiniai akustiniai rezonatoriai su įvairios formos plyšiais teoriškai ir eksperimentiškai buvo išnagrinėti darbuose [ 1, 2, 3, 4 ]. Juose ištirta, kaip kinta absorbcija priklausomai nuo plyšio pločio ir rezonatoriaus atstumo iki standaus paviršiaus. Tačiau projektuojant tokius rezonatorius reikia žinoti, kaip jie absorbuoja garso energiją kintant rezonatoriaus tūriui.

Šio darbo tikslas teoriškai ir eksperimentiškai iš-tirti, kaip rezonatoriaus absorbcija priklauso nuo tūrio kitimo: kai jo aukštis yra pastovus, o tūris didėja didėjant jo pločiui, ir kai tūris kinta didėjant jo aukščiui, kai plotis yra pastovus. Tokių duomenų reikia tam, kad žinotume optimalius rezonatoriaus geometrinius parametrus.

### 2. Teorija

Vienetiniame rezonatoriuje įvertinsime ne tik pagrindinį rezonansą, bet ir obertonus, t.y. nelygines harmonikas ir pridėtines oro mases plyšio viduje ir išorėje (1 pav.).



1 pav. Vienetinio kryžiaus formos akustinio rezonatoriaus skaičiuojamoji schema. Rezonatoriaus tūris  $V_1$  kinta didėjant jo aukščiui  $H_1$  ir rezonatoriaus tūris  $V_2$  kinta didėjant jo pločiui  $2a_2$

Fig 1. The calculation diagram of an isolated cross-shaped acoustic resonator. The resonator volume  $V_1$  changes along with the increase in its height  $H_1$  and the resonator volume  $V_2$  changes along with the increase in its width  $2a_2$

Vienetinio kryžiaus formos akustinio rezonatoriaus garso absorbcija apskaičiuojama pagal formulę:

$$A = 4\rho_0 c_0 \frac{\text{Re } Z}{|Z_m + Z_r|} \cdot S_r, \quad (1)$$

čia  $\rho_0$  - oro tankis;  $c_0$  - garso greitis ore;  $S_r$  - rezonatoriaus plotas;  $Z_r$  - rezonatoriaus spinduliavimo impedansas;  $Z_m$  - paties plyšio impedansas.

Norint apskaičiuoti rezonatoriaus garso absorbciją, reikia apskaičiuoti jo spinduliavimo impedansą ir paties plyšio impedansą.

Rezonatoriaus spinduliavimo impedansą apskaičiuosime pagal formulę:

$$Z_r = \rho_0 c_0 \frac{k^2 S_r^2 \langle v \rangle^2}{4\pi^2 v_0^2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\frac{\pi}{2} + j\infty} |D(\gamma, \varphi)|^2 \sin \gamma d\gamma, \quad (2)$$

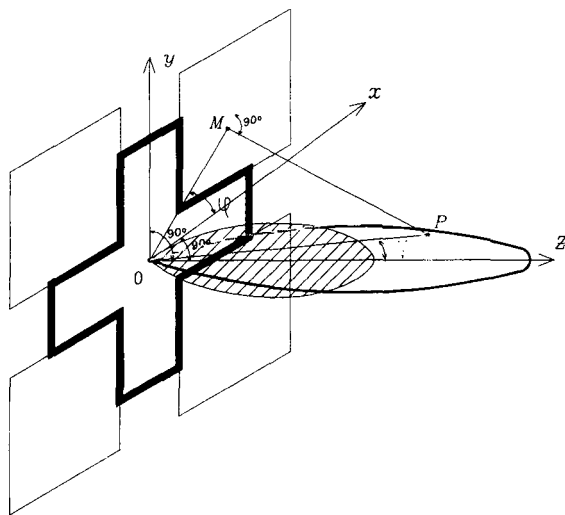
čia  $k$  - banginis skaičius;  $\langle v \rangle$  - vidutinis oro dalelių svyravimo greitis visame rezonatoriaus plote;  $v_0$  - judančio taško greitis, kuriam reikia surasti spinduliavimo impedansą greitis,  $D(\gamma, \varphi)$  - rezonatoriaus spinduliavimo kryptingumo diagrama.

Spinduliavimo kryptingumo diagrama apskaičiuojama pagal formulę:

$$D(\gamma, \varphi) = \frac{\sin[kl \cos(r, x)]}{kl \cos(r, x)} \cdot \frac{\sin[kd \cos(r, y)]}{kd \cos(r, y)}, \quad (3)$$

čia  $r$  - linija, jungianti koordinačių pradžią su stebėjimo tašku  $P$ ;  $(r, x)$  ir  $(r, y)$  reiškia kampą tarp linijos  $r$  ir ašių  $X$  ir  $Y$ .

Kryžiaus formos rezonatoriui spinduliavimo kryptingumo diagramos kampus  $\gamma$  ir  $\varphi$  rasime pagal schemą, pavaizduotą 2 paveiksle.



2 pav. Kryžiaus formos akustinio rezonatoriaus spinduliavimo kryptingumo diagramos kampų  $\gamma$  ir  $\varphi$  nustatymas

Fig 2. The determination of the angles  $\gamma$  and  $\varphi$  of the directivity diagram of a cross-shaped resonator

Pakeisime dydžius  $\cos(r, z) = \sin \gamma \cos \varphi$  ir  $\cos(r, y) = \sin \gamma \sin \varphi$ . Tada rezonatoriaus spinduliavimo impedansas turės tokią išraišką:

$$Z_r = \rho_0 c_0 \frac{k^2}{4\pi^2} S_r^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\frac{\pi}{2} + j\infty} \frac{\sin^2[kl \sin \gamma \cos \varphi]}{k^2 l^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varphi} \times \frac{\sin^2[kd \sin \gamma \sin \varphi]}{k^2 d^2 \sin^2 \gamma \sin^2 \varphi} \sin \gamma d\gamma. \quad (4)$$

Energijos nuostolius rezonatoriuje apibūdina realioji impedanso dalis, o perspinduliavimo energiją, kuri rezonanso metu yra lygi nuliui, apibūdina menamoji impedanso dalis. Išskirsime realiąją  $\text{Re}Z_r$ , ir menamąją  $\text{Im}Z_r$  impedanso dalis.

Realioji spinduliavimo impedanso dalis yra apskaičiuojama pagal formulę:

$$\text{Re} Z_r = \rho_0 c_0 \frac{k^2}{4\pi^2} S_r^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2[kl \sin \gamma \cos \varphi]}{k^2 l^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varphi} \times \frac{\sin^2[kd \sin \gamma \sin \varphi]}{k^2 d^2 \sin^2 \gamma \sin^2 \varphi} \sin \gamma d\gamma. \quad (5)$$

Menamoji spinduliavimo impedanso dalis yra apskaičiuojama pagal formulę:

$$\text{Im} Z_r = \frac{\rho_0 c_0}{j} \frac{k^2}{4\pi^2} S_r^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{\frac{\pi}{2} + j0}^{\frac{\pi}{2} + j\infty} \frac{\sin^2[kl \sin \gamma \cos \varphi]}{k^2 l^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varphi} \times \frac{\sin^2[kd \sin \gamma \sin \varphi]}{k^2 d^2 \sin^2 \gamma \sin^2 \varphi} \sin \gamma d\gamma. \quad (6)$$

Norėdami įvertinti plyšio formą, pakeisime dydžius:  $u = \frac{\pi}{2} - j\gamma$ ,  $du = -j d\gamma$ . Apatinė integravimo riba lygi 0, o viršutinė lygi  $-\infty$ , o  $\cos jx = \cos hx$ . Tada integruojant nuo 0 iki  $-\infty$  menamoji spinduliavimo impedanso dalis bus lygi:

$$\text{Im} Z_r = \frac{\rho_0 c_0}{j} \frac{k^2}{4\pi^2} S_r^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{-\infty} \frac{\sin^2[kl \cos \varphi \cosh u]}{k^2 l^2 \cos^2 \varphi \cosh^2 u} \times \frac{\sin^2[kd \sin \varphi \cosh u]}{k^2 d^2 \sin^2 \varphi \cosh^2 u} \cosh u (-j du). \quad (7)$$

Integruojant nuo 0 iki  $\infty$  menamoji spinduliavimo impedanso dalis bus lygi:

$$\text{Im} Z_r = \rho_0 c_0 \frac{k^2}{4\pi^2} S_r^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{+\infty} \frac{\sin^2[kl \cos \varphi \cosh u]}{k^2 l^2 \cos^2 \varphi \cosh^2 u} \times \frac{\sin^2[kd \sin \varphi \cosh u]}{k^2 d^2 \sin^2 \varphi \cosh^2 u} \cosh u du. \quad (8)$$

Šie integralai yra integruojami skaitmeniškai.

Kryžiaus formos plyšio spinduliavimo kryptingumo diagrama skirsis nuo stačiakampio formos ir tai gali būti išreikiama:

$$D(\gamma, \varphi) = (D_1 S_1 + D_2 S_2 - D_{12} S_{12}) / S_r, \quad (9)$$

čia  $D_1$  ir  $D_2$  - dviejų stačiakampių, vienas kitam statmenų plyšių kryptingumo diagramos;  $S_1$  ir  $S_2$  - jų plotai;  $D_{12}$  ir  $S_{12}$  - susikertančio ploto spinduliavimo diagrama ir jos plotas.

Stačiakampės formos plyšio  $D_1$  spinduliavimo kryptingumo diagrama apskaičiuojama pagal formulę:

$$D_1 = \frac{\sin[ka \sin \gamma \cos \varphi]}{ka \sin \gamma \cos \varphi} \cdot \frac{\sin[kb \sin \gamma \sin \varphi]}{kb \sin \gamma \sin \varphi}. \quad (10)$$

Stačiakampės formos plyšio  $D_2$  spinduliavimo kryptingumo diagrama apskaičiuojama pagal formulę:

$$D_2 = \frac{\sin[ka \sin \gamma \sin \varphi]}{ka \sin \gamma \sin \varphi} \cdot \frac{\sin[kb \sin \gamma \cos \varphi]}{kb \sin \gamma \cos \varphi}. \quad (11)$$

Susikertančio ploto spinduliavimo kryptingumo diagrama  $D_{12}$  apskaičiuojama pagal formulę:

$$D_{12} = \frac{\sin[kb \sin \gamma \cos \varphi]}{ka \sin \gamma \cos \varphi} \cdot \frac{\sin[kb \sin \gamma \sin \varphi]}{kb \sin \gamma \sin \varphi}. \quad (12)$$

Pačios skylės impedansą  $Z_m$  surasime remdamiesi impedansiniu skaičiavimo metodu [5]. Galutinė formulė skylės impedansui apskaičiuoti yra tokia:

$$Z_m = \frac{u(1 + \frac{u}{\pi})}{4S_r} \rho_0 \sqrt{\frac{8\eta\omega}{\rho_0}} + \rho_0 c_0 (k_0 a_{ef}) + j\omega \rho_0 \left[ l + 2\Delta l + \frac{u(l + \frac{u}{\pi})}{4S_r} \sqrt{\frac{8\eta\omega}{\rho_0}} \right] + Z_v, \quad (13)$$

čia  $k_0 a_{ef}$  - plyšio geometrinė forma;  $Z_v$  - uždaro rezonatoriaus tūrio impedansas, kuris yra lygus:

$$Z_v = Z_0 \frac{Z_1 \coth k_0 H + Z_0}{Z_1 + Z_0 \coth kH} \cdot \frac{S_r H}{V}. \quad (14)$$

### 3. Apskaičiavimų rezultatai

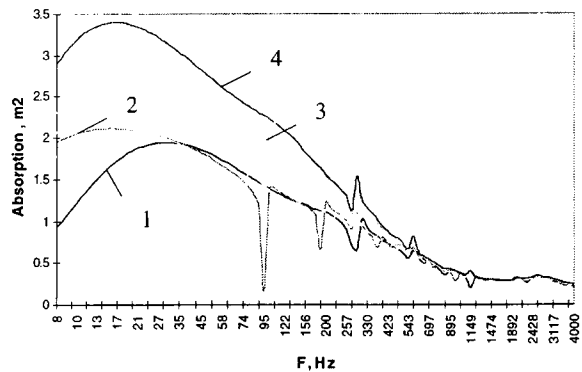
Apskaičiuojant kryžiaus formos plyšio impedansą tūrio įtaka jam yra išskirta atskira formulė. Čia, be geometrinių rezonatoriaus parametrų ir banginio skaičiaus, svarbus paskutinis formulės narys. Jame  $S_r$  yra ne viso rezonatoriaus tūris, bet oro kamščio tūris, kurio plotis yra lygus plyšio pločiui, o aukštis lygus rezonatoriaus aukščiui. Rezonatoriuje reikia išskirti viso oro tūrio stangrumą ir pačią svyruojančią oro masę. Oro stangrumą nusako uždaryto oro tūris ir aukštis, o svyruojančią masę nusako pats oras skylėje, plius pridėtinė oro masė, kurią aprašo spinduliavimo impedansas. Kai plyšio plotis yra didelis, tada pridėtinė

oro masė mažai priklauso nuo dažnio. Kai oro stangrumas lygus svyruojančiai oro masei, tada vyksta rezonansas. Apskaičiavimais įvertinsime šio tūrio įtaką rezonatoriaus garso absorbcijai ir impedansams.

Apskaičiavimuose buvo pasirinkti du galimi tūrio kitimo atvejai: a) tūris didėjo didėjant aukščiui. Aukštis buvo lygus 60, 180 ir 240 cm, o jo tūris atitinkamai lygus 2,6; 7,77 ir 10,3 m<sup>3</sup>. Rezonatoriaus plotas buvo pastovus ir lygus 2,4×1,8 m= 4,32 m<sup>2</sup>; b) tūris didėjo didėjant jo plotui, kai aukštis 60 cm buvo pastovus. Plotai keitėsi nuo 4,2×3 m=12,6 m<sup>2</sup> iki 4,8×3,6 m =17,28 m<sup>2</sup>, o jų tūriai buvo lygūs atitinkamai 7,77 ir 10,3 m<sup>3</sup>. Visais atvejais plyšio plotis buvo lygus 30 cm.

Apskaičiavimuose plokštės storis imtas 2 cm. Standaus lubų paviršiaus garso absorbcijos koeficientai imti minimalūs - nuo 0,02 iki 0,04 visame dažnių diapazone. Kiekvienos kreivės apskaičiavimui imta po 100 taškų. Visais atvejais laikyta, kad garso banga krinta normaliniu kampu.

3 paveiksle pavaizduota, kaip kinta rezonatoriaus garso absorbcija kintant jo tūriui.



**3 pav.** Vienetinio rezonatoriaus su kryžiaus formos plyšiu garso absorbcijos priklausomybė nuo jo tūrio: 1 –  $H = 60$  cm; 2 – 180 cm; 3 – 240 cm - tūris didėja didėjant jo aukščiui, kai plotas pastovus; 4 –  $S = 4,2 \times 3$  m<sup>2</sup>; 5 –  $4,8 \times 3,6$  m<sup>2</sup> - tūris didėja didėjant jo plotui, kai aukštis (60 cm) yra pastovus

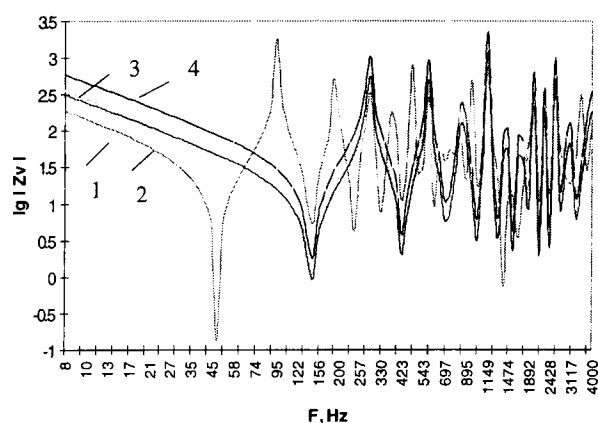
**Fig 3.** The dependence of the sound absorption of a cross-shaped acoustic resonator on its volume: 1 –  $H = 60$  cm; 2 – 180 cm; 3 – 240 cm - the volume is increased along with the height increase with the area being constant; 4 –  $S = 4.2 \times 3$  m<sup>2</sup>; 5 –  $4.8 \times 3.6$  m<sup>2</sup> - the volume is increased along with the area increase with the height being constant (60 cm)

Apskaičiavimų rezultatai rodo, kad didėjant rezonatoriaus aukščiui, kai jo plotas yra pastovus, garso absorbcija keičiasi nedaug. Kai rezonatoriaus aukštis yra 60 cm, tai absorbcijos maksimumas apie 2 m<sup>2</sup> yra esant 35 Hz. Didėjant aukščiui, absorbcijos maksimumas

siekia  $2 \text{ m}^2$  ir jis jau yra esant labai žemiems dažniams. Šiuo atveju dažnių diapazone nuo 70 iki 300 Hz išryškėja rezonansai, kuriems esant sumažėja garso absorbcija.

Kai tūris didėja didėjant rezonatoriaus plotui, tai garso absorbcija yra žymiai didesnė negu pirmuoju atveju. Kai plotas yra  $7,77$  ir  $10,3 \text{ m}^2$ , absorbcijos maksimumas yra esant  $17 - 20 \text{ Hz}$  ir siekia atitinkamai  $2,9$  ir  $3,4 \text{ m}^2$ , o pirmuoju atveju šis plotas yra tik apie  $2 \text{ m}^2$ . Didėjant dažniui absorbcija tolygiai mažėja, o rezonansinių reiškinį jau nepastebima.

4 paveiksle pavaizduota, kaip kinta rezonatoriaus tūrio impedanso realiosios dalys, kurios rodo garso energijos nuostolius.



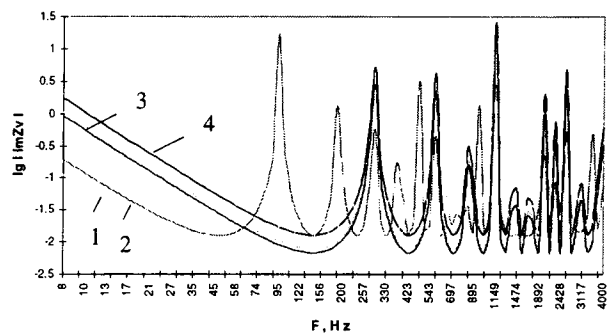
**4 pav.** Vienetinio rezonatoriaus su kryžiaus formos plyšiu tūrio impedanso realiosios dalies priklausomybė nuo jo tūrio: 1 -  $H = 60 \text{ cm}$ ; 2 -  $180 \text{ cm}$ ; 3 -  $240 \text{ cm}$  - tūris didėja didėjant jo aukščiui, kai plotas pastovus; 4 -  $S = 4,2 \times 3 \text{ m}$ ; 5 -  $4,8 \times 3,6 \text{ m}$  - tūris didėja didėjant jo plotui, kai aukštis ( $60 \text{ cm}$ ) yra pastovus

**Fig 4.** The dependence of the real part of the impedance of the volume of an isolated cross-shaped resonator on the resonator volume: 1 -  $H = 60 \text{ cm}$ ; 2 -  $180 \text{ cm}$ ; 3 -  $240 \text{ cm}$  - the volume is increased along with the height increase with the area being constant; 4 -  $S = 4.2 \times 3 \text{ m}$ ; 5 -  $4.8 \times 3.6 \text{ m}$  - the volume is increased along with the area increase with the height being constant ( $60 \text{ cm}$ )

Kai tūris didėja didėjant rezonatoriaus aukščiui, tai realiosios impedanso dalys tolygiai mažėja iki  $160 \text{ Hz}$ . Nuo šio dažnio prasideda rezonansai, kurių pasikartojimo dažnis vis tankėja. Kai tūris didėja didėjant rezonatoriaus plotui, tai realiosios impedanso dalys taip pat tolygiai mažėja augant dažniui. Tačiau šiuo atveju didėjant tūriui rezonansų dažnis mažėja, o jų amplitudės darosi vis didesnės.

Menamoji impedanso dalis rodo perspinduliavimo energiją, kuri rezonanso metu yra lygi nuliui. 5 pav.

pavaizduota, kaip kinta tūrio impedanso menamosios dalys.



**5 pav.** Vienetinio rezonatoriaus su kryžiaus formos plyšiu tūrio impedanso menamosios dalies priklausomybė nuo jo tūrio: 1 -  $H = 60 \text{ cm}$ ; 2 -  $180 \text{ cm}$ ; 3 -  $240 \text{ cm}$  - tūris didėja didėjant jo aukščiui, kai plotas pastovus; 4 -  $S = 4,2 \times 3 \text{ m} = 12,6 \text{ m}^2$ ; 5 -  $4,8 \times 3,6 \text{ m} = 17,28 \text{ m}^2$  - tūris didėja didėjant jo plotui, kai aukštis ( $60 \text{ cm}$ ) yra pastovus

**Fig 5.** The dependence of the imaginary part of the impedance of the volume of an isolated cross-shaped resonator on the resonator volume: 1 -  $H = 60 \text{ cm}$ ; 2 -  $180 \text{ cm}$ ; 3 -  $240 \text{ cm}$  - the volume is increased along with the height increase with the area being constant; 4 -  $S = 4.2 \times 3 \text{ m} = 12.6 \text{ m}^2$ ; 5 -  $4.8 \times 3.6 \text{ m} = 17.28 \text{ m}^2$  - the volume is increased along with the area increase with the height being constant ( $60 \text{ cm}$ )

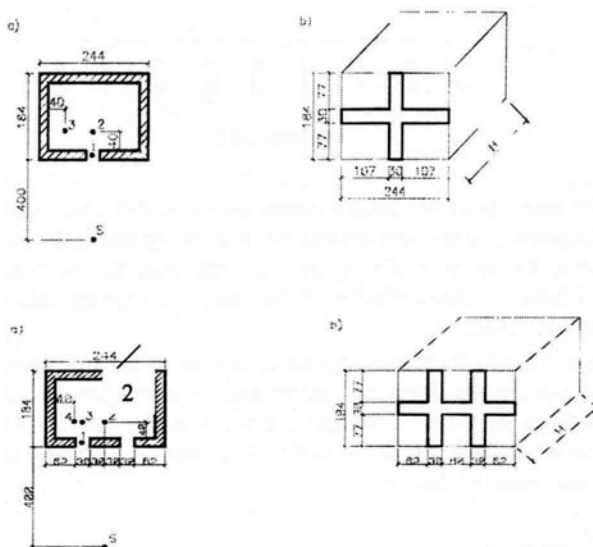
Kai rezonatoriaus tūris didėja didėjant jo aukščiui, tai menamosios impedanso dalys didėjant dažniui staigiai mažėja iki  $160 \text{ Hz}$ . Po to vyksta pasikartojantys rezonansai su tankėjančiu jų dažniu. Kai tūris didėja didėjant plotui, rezonansiniai dažniai prasideda esant žemesniems dažniams. Abiem atvejais tūrio padidėjimas turi nedidelę įtaką impedanso menamosios dalies kitimo pobūdžiui.

#### 4. Eksperimento rezultatai

Eksperimentas buvo atliktas natūraliomis sąlygomis, atvirame ore, lygioje aikštelėje. Rezonatoriai buvo statomi ant žemės, apaugusios tankia žole. Rezonatoriai sumontuoti iš  $18 \text{ mm}$  storio medžio drožlių plokščių, kurios gerai atspindi garso energiją. Plokščių sujungimo vietose maži plyšiai buvo užkljuojami lipnia juosta. Tokios eksperimento sąlygos leido gerai įvertinti paties rezonatoriaus garso absorbcijos savybes.

Garso šaltinis buvo 9-ojo kalibro garsinis pistoletas. Garso signalas per difuzinį mikrofoną ir keitiklį analogas-kodas buvo įrašomas į personalinį kompiuterį ir analizuojamas pagal specialiai sukurta programą.

Rezonatorių forma ir matmenys pavaizduoti 6 paveiksle. Tyrimams pasirinkti du rezonatorių tipai - su vienu ir su dviem kryžiaus formos plyšiais. Tai buvo daroma norint sužinoti, kokią įtaką absorbcijai turi plyšių skaičius ir jų ploto padidėjimas esant tam pačiam rezonatorių plotui ir tūriui. Abiem atvejais rezonatorių aukštis  $H$  buvo imtas 60 ir 180 cm. Vienas matavimų taškas Nr. 2 buvo rezonatoriaus viduje.



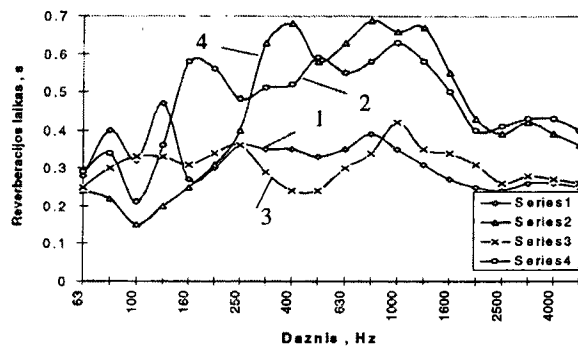
6 pav. Vienetinių rezonatorių su kryžiaus formos plyšiais schemas ir jų matmenys; S - garso šaltinis

Fig 6. The layout of isolated cross-shaped resonators with the indication of dimensions; S - sound source

7 pav. pavaizduota abiejų rezonatorių su skirtingais tūriais reverberacijos laiko dažninės charakteristikos, kurios gautos aproksimuojant garso lauko slopinimą nuo 0 iki -30 dB.

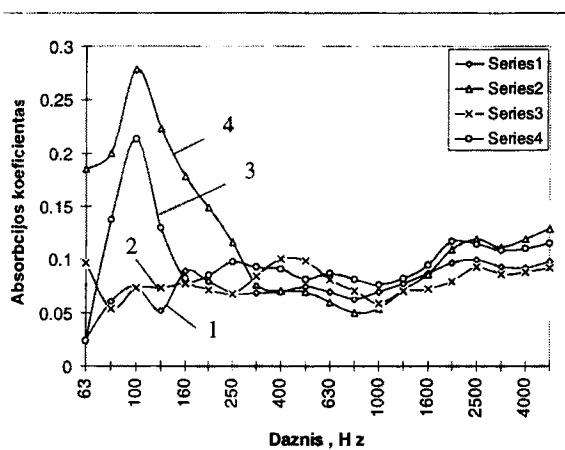
Tyrimai rodo, kad, kai mažas rezonatoriaus tūris - 2, 6 m<sup>3</sup>, reverberacijos laikas nuo kryžiaus formos plyšių skaičiaus priklauso tik esant vidutiniams ir aukštesiems dažniams. Tuo tarpu tūriui padidėjus iki 7,8 m<sup>3</sup> reverberacijos laikas padidėja net 0,2 - 0,7 s ir esant 800 Hz siekia 1s. Kai šis rezonatorius turi du kryžiaus formos plyšius, tai jo reverberacijos laikas sumažėja, ypač kai dažnių diapazonas 125-1000 Hz. Tūriui padidėjus nuo 2,6 iki 7,8 m<sup>3</sup> reverberacijos laikas padidėja daugiau, kai rezonatorius turi vieną plyšį.

8 pav. pateikiama garso absorbcijos koeficientų priklausomybė nuo rezonatorių tūrio ir plyšių skaičiaus.



7 pav. Reverberacijos laiko dažninės charakteristikos, priklausomai nuo rezonatorių tūrio ir plyšių skaičiaus: 1 - tūris 2,6 m<sup>3</sup> su vienu kryžiumi; 2 - tas pats, tik su dviem kryžiais; 3 - tūris 7,8 m<sup>3</sup> su vienu kryžiumi; 4 - tas pats, tik su dviem kryžiais

Fig 7. The frequency characteristics of the reverberation time dependent on the volume of resonators and the number of slits: 1 - volume 2.6 m<sup>3</sup> with one slit; 2 - the same with two slits; 3 - volume 7.8 m<sup>3</sup> with one slit; 4 - the same with two slits



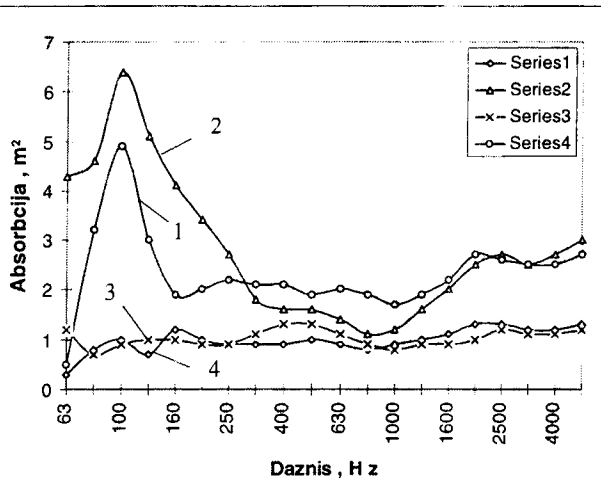
8 pav. Garso absorbcijos koeficientų dažninės charakteristikos, priklausomai nuo rezonatorių tūrio ir plyšių skaičiaus: 1 - tūris 2,6 m<sup>3</sup> su vienu kryžiumi; 2 - tas pats, tik su dviem kryžiais; 3 - tūris 7,8 m<sup>3</sup> su vienu kryžiumi; 4 - tas pats, tik su dviem kryžiais

Fig 8. The frequency characteristics of the sound absorption coefficients dependent on the volume of resonators and the number of slits: 1 - volume 2.6 m<sup>3</sup> with one slit; 2 - the same with two slits; 3 - volume 7.8 m<sup>3</sup> with one slit; 4 - the same with two slits

Garso absorbcijos koeficientai ir garso absorbcija buvo apskaičiuoti iš išmatuoto reverberacijos laiko. Grafikas rodo, kad esant mažam rezonatoriaus tūriui ir dviem plyšiams, absorbcijos koeficientas sumažėja ir jo maksimalios reikšmės dažnis pasistumia nuo 315 iki 200 Hz. Padidėjus tūriui situacija keičiasi - didėjant plyšių skaičiui didėja ir absorbcijos koeficiento reikšmės nuo 0,25 iki 0,4. Tokį reiškinį galime paaiškinti

tu, kad esant vienam ir dviem plyšiams į aplinką yra išspinduliuojama skirtinga garso energija.

9 paveiksle pateikiama garso absorbcijos priklausomybė nuo rezonatoriaus tūrio ir kryžių skaičiaus.



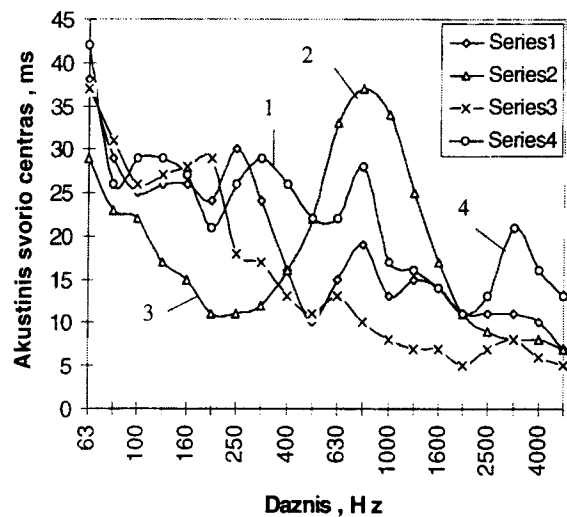
9 pav. Garso absorbcijos koeficientų dažninės charakteristikos, priklausomai nuo rezonatorių tūrio ir plyšių skaičiaus: 1 - tūris  $2,6 \text{ m}^3$  su vienu kryžiumi; 2 - tas pats, tik su dviem kryžiais; 3 - tūris  $7,8 \text{ m}^3$  su vienu kryžiumi; 4 - tas pats, tik su dviem kryžiais

Fig 9. The frequency characteristics of the sound absorption coefficients dependent on the volume of resonators and the number of slits: 1 - volume  $2.6 \text{ m}^3$  with one slit; 2 - the same with two slits; 3 - volume  $7.8 \text{ m}^3$  with one slit; 4 - the same with two slits

Absorbcijos kitimo pobūdis toks pat, kaip ir absorbcijos koeficientų. Ji maksimumą pasiekia esant 100 Hz ir siekia  $5-6,5 \text{ m}^2$  ir mažėja didėjant bei mažėjant dažniui. Šios reikšmės yra labai didelės, nes rezonatoriaus tūris yra tik  $7,8 \text{ m}^3$ , o plyšio plotas yra tik  $1,26 \text{ m}^2$ . Patį rezonatorių sudaro tik garsą atspindinčios medžiagos, tuo tarpu jis gerai absorbuoja žemųjų dažnių garso energiją.

10 paveiksle pateikiamas akustinio svorio centro dažninės priklausomybės nuo rezonatorių tūrio ir plyšių kiekio.

Akustinis svorio centras labai priklauso nuo dažnio ir rezonatorių tūrio. Visais tirtais atvejais jo maksimumas yra esant 800 Hz ir siekia 18-40 ms. Didesnes laiko reikšmes akustinis svorio centras turi, kai rezonatoriaus tūris  $7,8 \text{ m}^3$  ir jis turi vieną plyšį.



10 pav. Akustinio svorio centro dažninės charakteristikos, priklausomai nuo rezonatorių tūrio ir plyšių skaičiaus: 1 - tūris  $2,6 \text{ m}^3$  su vienu plyšiu; 2 - tas pats, tik su dviem plyšiais; 3 - tūris  $7,8 \text{ m}^3$  su vienu plyšiu; 4 - tas pats, tik su dviem plyšiais

Fig 10. The frequency characteristics of an acoustic centre of gravity dependent on the volume of resonators and the number of slits: 1 - volume  $2.6 \text{ m}^3$  with one slit; 2 - the same with two slits; 3 - volume  $7.8 \text{ m}^3$  with one slit; 4 - the same with two slits

## 5. Išvados

1. Garsas absorbcijos atžvilgiu yra efektingesnis, kai rezonatoriaus tūris didėja didėjant jo plotui esant pastoviam jo aukščiui.

2. Kai tūris didėja didėjant rezonatoriaus plotui, impedanso realiųjų dalių rezonansai prasideda esant žemesniems dažniams, o jų amplitudės turi didesnes reikšmes, negu tuo atveju, kai tūris didėja didėjant aukščiui.

3. Tūrio impedanso menamųjų dalių kitimo pobūdis mažai priklauso nuo rezonatoriaus tūrio padidėjimo. Kai tūris didėja didėjant jo plotui, rezonansiniai reiškiniai prasideda esant žemesniems dažniams.

4. Didėjant rezonatoriaus tūriui, didėja ir jo reverberacijos laikas ir daugiau tuomet, kai rezonatorius turi vieną plyšį.

## Literatūra

1. V. Stauskis. The Resonant Suspended Ceilings and their Effect on Hall Acoustics // *Acustica - acta acustica*, vol 83, 1997, No 5, p. 875 - 881.
2. V. Stauskis. The sound absorption properties of a cross-shaped isolated acoustic resonator // *Archives of acoustics*, 22, 2, 1997, p. 129-140.

3. V. Stauskis. Sound Absorption Qualities of a Cross-Shaped Isolated Acoustic Resonator // *Acustica - acta acustica*, vol 83, 1998 (spaustuvėje).
4. V. Stauskis. The sound absorption of an isolated resonator with a cross-shaped slit and its dependence on the number of resonators // *Statyba*, No 2(6). Vilnius: Technika, 1996, p. 50-58.
5. V. Stauskis. Impedansinis rezonansinių kabamųjų lubų garso absorbcijos skaičiavimo metodas // *Statyba*, Nr. 1(5). Vilnius: Technika, 1996, p. 92-100.

Įteikta 1998 04 03

## THE INFLUENCE OF AN ISOLATED ACOUSTIC RESONATOR WITH A CROSS-SHAPED SLIT ON SOUND ABSORPTION

V. Stauskis

### S u m m a r y

The paper deals with the dependence of the sound absorption of an isolated acoustic resonator with a cross-shaped slit between the planes. A theoretical sound absorption calculation method employing the radiation impedance and the directivity diagram. Formulas were derived that enable to calculate both real and imaginary parts of the radiation impedance of the resonator, the radiation directivity diagram, the volume impedance and the impedance of the slit, in which the added air masses both inside and outside the slit have been assessed.

In the calculation of the resonator parameters, the elasticity of the entire air volume and the fluctuating air mass were set apart. The elasticity of air is determined by the air volume and height, while the fluctuating air mass is determined by the air in the hole and the added air mass characterised by the radiation impedance. When the slit is wide, the added air mass is little dependent on frequency. When the air elasticity is equal to the fluctuating air mass, a resonance takes place. The influence of this volume on the resonator's sound absorption and the impedances has been evaluated by calculations.

When the volume increases along with the increase in the height of the resonator, the real parts of the impedance decrease uniformly up to 160 Hz. From this frequency, resonances start, while their repetition becomes more and more dense. When the volume increases along with the increase in the width of the resonator, the real parts of the impedance decrease uniformly as the frequency becomes higher. However, in this case the resonance frequency becomes lower with the increase in volume, while their amplitudes grow.

The imaginary part of the impedance characterises the reradiation energy, which is equal to zero at the time of the resonance.

When the volume of the resonator increases with the increase of its height, the imaginary parts of the impedance are sharply reduced to 160 Hz. Afterwards repetitive resonances take place, with their frequencies becoming denser. When the volume increases with the increase in area, the resonant frequencies start from lower frequency. In both cases the increase in volume has little influence on the character of change of the impedance imaginary part.

Two possible cases of change in volume were chosen in the calculations: (a) the volume increase along with the increase

in height. The height was equal to 60, 180 and 240 cm, while the volume to 2.6, 7.77 and 10.3 m<sup>3</sup> respectively. The area of the resonator was constant and equal to 2.4×1.8 = 4.32 m<sup>2</sup>; (b) the volume increase along with the increase in area, with the constant height of 60 cm. The area was changed from 4.2×3 m = 12.6 m<sup>2</sup> to 4.8×3.6 = 17.28 m<sup>2</sup>, while their volumes were equal to 7.77 m<sup>3</sup> and 10.3 m<sup>3</sup> respectively. In all cases the width of the slit was taken as 30 cm.

When the height of the resonator is increased and its area is constant, there are no marked changes in the sound absorption. When the height of the resonator is 60 cm, the maximum absorption of 2 m<sup>2</sup> is reached at 35 Hz. As the height increases, the absorption maximum is 2 m<sup>2</sup> and is observed at very low frequencies. Resonances become apparent in the frequency range from 70 Hz to 300 Hz, at which there is a reduction in the sound absorption.

When the volume grows with the increase in the resonator area, the sound absorption is much larger than in the first case. When the area is 7.77 m<sup>2</sup> and 10.3 m<sup>2</sup> respectively, the absorption maximum is at 17-20 Hz and equals 2.9 m<sup>2</sup> and 3.4 m<sup>2</sup> respectively, when in the first case this area was 2 m<sup>2</sup> only. As the frequency increases, the absorption gradually diminishes and no resonant phenomena are observed.

Two types of resonators were chosen for the investigations in natural conditions: with one cross-shaped slit and with two cross-shaped slits. This was done in order to determine the effect of increase in the slit number and slit area on absorption when both area and volume of the resonators are constant. In both cases, the resonator height H was taken as 60 cm and 180 cm. The resonators were made of wood shaving slabs 18 mm thick.

When the small volume of the resonator is small (2.6 m<sup>3</sup>), the reverberation time depends on the number of slits only at the medium and high frequencies, whereas the increase of the volume to 7.8 m<sup>3</sup> causes a prolongation of the reverberation time by as much as 0.2-0.7 s. Thus, the reverberation time reaches 1 s at 800 Hz. When the resonator has two cross-shaped slits, its reverberation time is reduced, particularly in the frequency range of 125-1000 Hz. When the volume is increased from 2.6 to 7.8 m<sup>3</sup>, the reverberation time is prolonged more in the case when the resonator has one slit.

The sound absorption coefficients and the sound absorption were calculated on the basis of the measured reverberation time. At the small volume of the resonator and two slits, the absorption coefficient is reduced and the frequency of its maximum value shifts from 315 Hz to 200 Hz. The situation changes when volume becomes larger: the values of the absorption coefficient increase from 0.25 to 0.4 as the number of slits is increased. This phenomenon may be explained by the fact that different sound energy is radiated to the environment by a resonator with a different number of slits.

---

**Vytautas STAUSKIS.** Professor, Doctor Habil. Dept of Building Structures, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor, 1974. Dr Habil 1997. Research visits: Moscow Civil Engineering Institute, Sankt Petersburg Polytechnic Institute. Research interests: experimental testing of halls by primary hall models and on site, computer simulation of theoretic tasks, wave diffraction and reflections, direct sound and subjective acoustic indicators, large-dimension resonance structures, early attenuation of acoustic field and its relation to hall acoustics.