

## SOUND ABSORPTION CALCULATION IMPEDANCE METHOD FOR RESONATOR CEILING

V. Stauskis

To cite this article: V. Stauskis (1996) SOUND ABSORPTION CALCULATION IMPEDANCE METHOD FOR RESONATOR CEILING, *Statyba*, 2:5, 92-100, DOI: [10.1080/13921525.1996.10531552](https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10531552)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10531552>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 61



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

---

## IMPEDANSINIS REZONANSINIŲ KABAMŲJŲ LUBŲ GARSO ABSORBCIJOS SKAIČIAVIMO METODAS

V. Stauskis

### 1. Įvadas

Įvairios paskirties salėse, norint pasiekti optimalų reverberacijos laiką ir kitus akustinius rodiklius, skirtingose plokštumose reikia išdėstyti tam tikrą plotą garso absorbuojančių medžiagų. Šių medžiagų garso absorbcijos koeficientų dažninės charakteristikos turi būti skirtingos. Salėse dažniausiai reikia mažinti reverberacijos laiką esant žemiems dažniams tam, kad gautume optimalią reverberacijos laiko dažninę charakteristiką. Dėl to reikia naudoti akustines medžiagas, kurios gerai absorbuoja garą esant žemiems dažniams. Tačiau praktikoje naudojamos akustinės medžiagos gerai absorbuoja garą tik esant vidutiniams ir aukštiesiems dažniams. Tokiu atveju reikia naudoti specialias rezonansines garą absorbuojančias konstrukcijas su gana dideliu oro tarpu tarp jų ir standaus paviršiaus. Tokios konstrukcijos dažnai nepriimtinos meniniu požiūriu, kuriant salės interjerą tai sudaro tam tikrų keblumų. Vienas šios problemos sprendimo būdas - įrengti pakabinamas lubas iš įvairaus pločio ir ilgio standžių plokštumų, tarp kurių būtų palikti atitinkamo pločio ir skirtingos formos plyšiai. Tačiau reikia žinoti, kaip tokios konstrukcijos absorbuoja garą esant įvairiems dažniams ir kaip keičiasi objektyvūs salės akustiniai rodikliai. Šio darbo tikslas - sukurti rezonansinių lubų su tarpais tarp plokštumų garso absorbcijos skaičiavimo metodą tuo atveju, kai plyšių plotis gali būti didesnis už garso bangos ilgį.

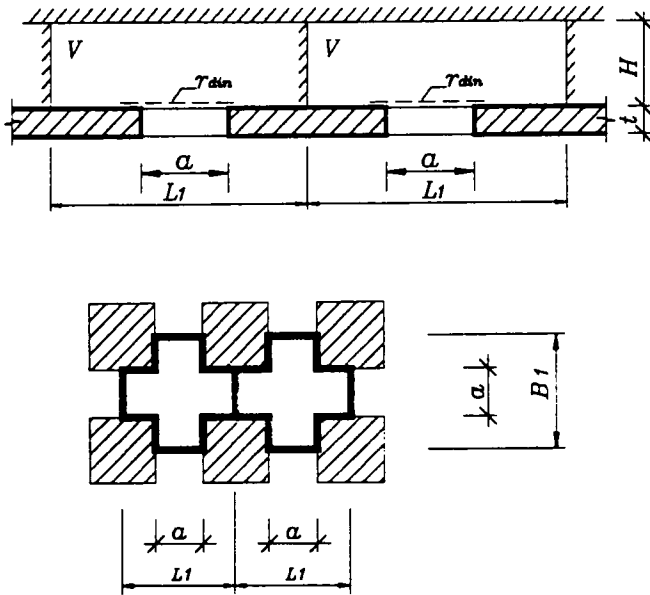
### 2. Teorija

Helmholco tipo rezonatorių tyrimams daug dėmesio skyrė daugelio šalių mokslininkai. U. Ingardas [1] nagrinėjo akustinių medžiagų su perforuotu ekranu garso absorbcines savybes, F.P. Mechelis [2] - plonų perforuotų metalinių plokščių garso absorbcines savybes. P. Guignouard su kolegomis [3] tyrinėjo perforuotų plokščių impedansą ir garso absorbcijos koeficientus. B. Brouardas su kolegomis [4] tyrė garso absorbcijos koeficientus tarp plonų plokščių, kuriose yra lygiagrečios mažo skersmens skylės. Šiuose darbuose skaičiuojama pagal klasikinį Helmholco rezonatorių. Pagal šią schemą garso bangos ilgis visada yra didesnis už skylės diametrą. Šiame rezonatoriuje buvo pateiktas analogiškas pavyzdys su elektros grandine, todėl laikoma, kad oro masė, judanti ertmėje, ir to oro stangrumas nepriklauso nuo dažnio. Todėl gaunamas vienas rezonansas. Be to, Helmholco rezonatoriaus skaičiavimas nėra visai tikslus, nes neįvertinama obertonų įtaka.

Nagrinėjame akustiniame rezonatoriuje sužadinsime ne tik pagrindinį rezonansą, bet ir obertonus, t.y. nelyginius harmonikus. Be to, įvertinsime akustinio rezonatoriaus prijungtines oro mases skylės išorėje ir viduje, atskirų rezonatorių tarpusavio sąveiką ir plyšių plotį, kai šis yra didesnis už garso bangos ilgį.

Oro tarpus tarp lubų plokštumų nagrinėsime kaip skylės. Jų apskaičiavimo schema pavaizduota 1 paveiksle.

Kabamųjų lubų plokštumose plyšių skaičius gali būti labai skirtingas ir tai priklauso nuo salės matmenų. Plyšiai gali būti arti vieni kitų, pvz., kai plyšio pločiai yra dideli, o plokštumų pločiai yra nedideli. Tai yra atvejis, kai garso bangos ilgis gali būti mažesnis už plyšio plotį. Plyšiai taip pat gali būti nutolę toli vieni nuo kitų, pvz., kai jų pločiai yra maži, o plokštumų matmenys yra dideli. Šiuo atveju garso bangos ilgis gali būti



1 pav. Kabamųjų rezonansinių lubų  
schemos planas ir pjūvis

didesnis už plyšio plotį.

Jeigu plyšių yra daug ir jie yra arti vieni kitų, tai slėgis tarp dviejų plyšių jų plokštumoje ir pačioje skylėje keisis nesmarkiai, t.y.  $P_b = P_a = \langle P \rangle$ . Čia ženklai  $\langle \rangle$  reiškia vidurkį ( $a$  - reiškia priklausomybę skylėi,  $b$  - visai plokštumai). Skylę traktuosime kaip rezonatorių, kurio matmenys yra nedideli palyginti su garso bangos ilgiu ir tada  $\langle V \cdot S \rangle = \langle V \rangle S_b = V_a \cdot S_a$ . Šiuo atveju plyšio impedansas yra lygus:

$$Z = \frac{\langle P \rangle}{\langle V \rangle} = \frac{P_a}{V_a S_a / S_b} = Z_m \frac{1}{\epsilon}, \quad (1)$$

kur  $\epsilon = S_a / S_b$  - ploto poringumo, perforacijos koeficientas;  $Z_m$  - skylės impedansas.

Jeigu bangos ilgis yra mažesnis už maksimalų rezonatoriaus skylės matmenį, t.y.  $\lambda < S_a$ , tai kiekvienas rezonatorius

garsą slopins atskirai. Garso energijos nuostoliai viename rezonatoriuje yra lygūs:

$$W_R = \frac{1}{2} |V_a|^2 R_r S_a, \quad (2)$$

kur  $R_r$  - aktyvi rezonatoriaus vidaus nuostolių varža.

Savo ruožtu oro dalelių svyravimo greitį galime išreikšti:

$$|V_a| = \langle a \rangle \frac{P_e}{|Z_m|}, \quad (3)$$

čia  $P_e$  - krintančios bangos slėgis, o  $\langle a \rangle$  - skaičius, gaunamas sumuojant krintančios ir atsispindėjusios bangų slėgius. Jeigu visa plokštuma, kurioje yra rezonatoriaus skylė, bus iš kietos medžiagos, tai  $\langle a \rangle$  2, t.y. bus beveik visas atspindys. Taigi,  $\langle a \rangle$  gali keistis nuo 1 iki 2.

Bendru atveju skylės impedansas  $Z_m$  yra kompleksinis dydis, kurį sudaro pačios skylės impedansas ir oro tūrio tarp lubų ir plokščių impedansas.

Rezonatorius bus charakterizuojamas garso absorbcijos plotu, kuris lygus absorbuotos energijos santykiui su krintančios energijos santykiu, taigi

$$P_e = \frac{1}{2} \frac{|P_e|^2}{Z_0}, \quad (4)$$

čia  $Z_0 = \rho_0 c_0$  - oro impedansas.

Tada vieno rezonatoriaus efektyvus absorbcijos plotas išreiškiamas [5]

$$A = \frac{W_R}{P_e} = \langle a \rangle^2 \frac{R_r Z_0}{|Z_m|^2} S_r, \quad (5)$$

čia  $Z_m$  - skylės impedansas,  $S_r$  - rezonatoriaus plotas.

Taigi, norėdami surasti rezonatoriaus absorbciją, turime surasti skylės impedansą. Jeigu tokių rezonatorių yra daug, tai norint gauti bendrą absorbciją, jų plotus reikia susumuoti, t.y.  $A = A \cdot N$ .

Krintančios garso bangos slėgis  $P_i$ , susidūręs su skylė, ją veikia jėga  $P_i S_{sk}$ . Ši jėga dėl susidariusio

slėgio skylėje  $P_s$  verčia svyruoti ten oro masę ir keičia oro suspaudimą  $P_v$  skylės išorėje, t.y.:

$$P_e S_a = P_s S_a + P_a S_a , \quad (6)$$

čia  $P_a$  - slėgis pačioje skylėje.

Žinant vidutinį oro greitį  $\langle v \rangle$  visame skylės plote galime surasti impedansus:

$$Z_m = Z'_m + jZ''_m = \frac{P_a}{\langle v \rangle_s} \quad \text{ir} \quad Z_s = Z'_s + jZ''_s = \frac{P_s}{\langle v \rangle_s} . \quad (7)$$

Bendras impedansas bus šių abiejų impedansų suma:

$$Z_R = Z_m + Z_s \quad (8)$$

ir bendru atveju galime parašyti:

$$Z_R = R_i + R'_2 + jZ''_R , \quad (9)$$

čia  $R_i$  - vidiniai nuostoliai,  $R'_2$  - spinduliavimo varža,  $Z''_R$  - reaktyvinė impedanso dalis, kuri susideda iš svyruojančios efektyvios masės  $m_{ef}$ , ta mase uždaryto oro stangrumo  $\sigma_{ef}$  ir išreiškiama

$$jZ''_R = \frac{j\omega m_{ef}}{S_a} + \frac{\sigma_{ef}}{j\omega S_a} . \quad (10)$$

Pirmiausia surasime patį skylės impedansą. Jis susideda iš keturių dalių (2 paveikslas):

$$Z_m = Z_{m0} + Z_{ma} + Z_{mi} + Z_v , \quad (11)$$

čia  $Z_{m0}$  - pačios skylės impedansas;  $Z_{ma}$  - prijungtos oro masės impedansas skylės išorėje;  $Z_{mi}$  - prijungtos oro masės impedansas skylės viduje,  $Z_v$  - rezonatoriaus tūrio impedansas.

Skylėje svyruojantis oro kamštis gali būti laikomas stūmokliu, kai oro dalelių svyravimo greitis visame plote yra vienodas. Tada pačios skylės impedansas išreiškiamas

$$Z_{m0} = j\omega \rho_{ef} t , \quad (12)$$

čia  $\rho_{ef} t$  - reiškia svyruojančią efektyvią masę skylės viduje,  $t$  - skylės storis.

Prijungtos oro masės impedansas skylės viduje yra lygus:

$$Z_{mi} = j\omega \rho_{ef} \cdot \Delta t_i , \quad (13)$$

čia  $\Delta t_i$  - prijungtinė oro masė skylės viduje.

Prijungtos oro masės impedansas skylės išorėje yra lygus:

$$Z_{ma} = Z_r + j\omega \rho'_{ef} \cdot \Delta t_a . \quad (14)$$

čia  $\Delta t_a$  - prijungtinė oro masė skylės išorėje,  $Z_r$  - skylės spinduliavimo impedansas.

Oro tekėjimo per cilindrinės skylės rezultatus galima pritaikyti bet kurio tipo skylėms pakankamai tiksliai.

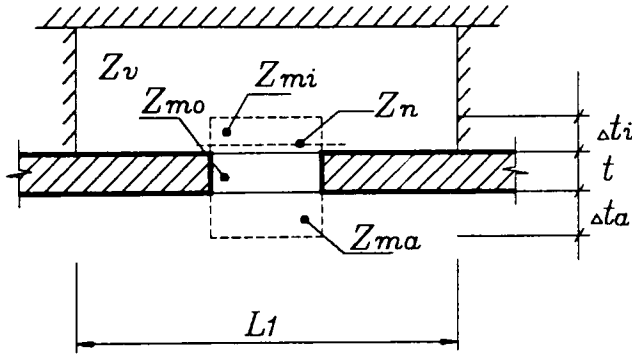
Helmholco priartėjimas oro pratekėjimui pro cilindrinės skylės aprašomas formulėje [6]:

$$\rho_{ef} = \rho_0 \left( 1 + 2 \frac{\sqrt{-j}}{\mu} \right) , \quad (15)$$

o tai reiškia, kad banga turbulentiškai teka skylės kraštais.

Čia  $\mu = a\sqrt{\omega\rho_0/\eta}$ ,  $\eta$  - oro klampumas. Išskaidžius į realiąją ir menamąją dalį turėsime:

$$\rho_{ef} = \rho_0 \left( 1 + \frac{1}{a} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega}} \right) - j \frac{\rho_0}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega\rho_0}} . \quad (16)$$



2 pav. Akustinio rezonatoriaus skylės ir prijungtų oro masių impedansų išsidėstymo schema

Čia  $2a$  žymi skylės diametrą, kurį vėliau pakeisime skylės - perimetru. Įstatę (16) į (12) gauname pačios skylės impedansą

$$Z_{m0} = \frac{\rho_0 t}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\rho_0}} \cdot \omega + j\omega\rho_0 t \left( 1 + \frac{1}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega\rho_0}} \right) . \quad (17)$$

Šio impedanso reali dalis nusako trinties nuostolius, kurie atsiranda orui judant skylė. Tokie pat nuostoliai turi būti ir orui judant abipus skylės. Tada prijungtinės oro masės impedansas skylės išorėje yra lygus:

$$Z_{ma} = Z_r + \frac{\rho_0 \Delta t_a}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\rho_0}} \cdot \omega + j\omega\rho_0 \frac{\Delta t_a}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega\rho_0}} . \quad (18)$$

čia  $Z_r$  - spinduliavimo impedansas, kuris yra lygus

$$Z_r = \rho_0 c_0 (k_0 a_{ef})^2 + j\omega\rho_0 \Delta t \quad (19)$$

Prijungtas oro masės impedansas skylės viduje skaičiuojamas pagal formulę:

$$Z_{mi} = \frac{\rho_0 \Delta t_i}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\rho_0}} \omega + j\omega\rho_0 \frac{\Delta t_i}{2a} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega\rho_0}} , \quad (20)$$

ir  $\frac{\pi}{4a} \leq t \leq \frac{8}{3\pi} a$  .

Pataisa  $8a/3\pi$  atsiranda iš oro kamščio reaktyvios spinduliavimo varžos, o reali spinduliavimo varža nusakoma pirmuoju  $Z_r$  nariu. Ši reali dalis prijungiama prie impedanso tik iš laisvosios plokštumos pusės, nes garsas spinduliuojamas tik į tą pusę.

Lubų įtaka impedansui skylių plokštumoje nustatoma transformuojant lubų impedansą į tą plokštumą. Transformavimą aprašo lygtis

$$Z_v = Z_0 \frac{Z_1 \coth k_0 H + Z_0}{Z_1 + Z_0 \coth k_0 H} , \quad (21)$$

čia  $k_0$  - bangų skaičius tarp plokštumos ir lubų;  $H$  - atstumas nuo plokštumos iki lubų;  $Z_1$  - lubų impedansas. Jeigu lubos charakterizuojamos slopimo koeficientu  $\alpha$  , tai

$$Z_1 = Z_0 \frac{1+x}{1-x} , \quad (22)$$

čia  $x = \sqrt{1-\alpha}$  - yra atspindžio koeficientas.

Įvesti  $\alpha$  būtina, nes netgi betono, tinko ar panašių medžiagų lubos nevisiškai atspindi patekusį į jas garsą.

Galima pakeisti cilindrinės skylės konfiguraciją pakeitus formulę:

$$\frac{1}{2a} \frac{2\pi a}{2\pi a} = \frac{2\pi a}{4\pi a^2} = \frac{u}{4S_a}, \quad (23)$$

čia  $u$  - skylės perimetras;  $S_a$  - skylės plotas. Be to, pataisa  $\Delta t' = \frac{2a\pi}{\pi} = \frac{u}{\pi}$ , o  $\Delta t = \frac{8a}{3\pi}$  ir priklauso nuo plyšio formos.

Taigi, galutinis impedansas yra lygus:

$$Z_m = \frac{u(t+u/\pi)}{4S_r} \rho_0 \sqrt{\frac{8\eta\omega}{\rho_0}} + \rho_0 c_0 (k_0 e_{ef}) + j\omega \rho_0 \left[ 1 + 2\Delta t + \frac{u/t+u/\pi}{4S_r} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega\rho_0}} \right] + Z_v, \quad (24)$$

čia  $k_0 e_{ef} = \frac{\pi}{2} k_0 a$  - ilgam plyšiui, kurio plotis  $a$ ;

$2\Delta t = a \frac{\pi}{8} \left( 1 - \frac{a}{b} \right)$  - ilgiems plyšiams, išdėstytiems su tarpais  $b$ .

Tada galutinis impedansas ilgam  $a$  pločio plyšiui yra lygus:

$$Z_m = \frac{u(t+u/\pi)}{4S_r} \rho_0 \sqrt{\frac{8\eta}{\rho_0}} \omega + \rho_0 c_0 \left( \frac{\pi}{2} k_0 a e_{ef} \right) + j\omega \rho_0 \left[ 1 + 2\Delta t + \frac{u/t+u/\pi}{4S_r} \sqrt{\frac{8\eta}{\omega\rho_0}} \right] + Z_v. \quad (25)$$

Ilgiems plyšiams, išdėstytiems su tarpais  $L_1$ , impedansas lygus:

$$Z_m = \frac{u(t+u/\pi)}{4S_r} \rho_0 \sqrt{\frac{8\eta}{\rho_0}} \omega + \rho_0 c_0 (k_0 a e_{ef}) + j\omega \rho_0 \left[ 1 + a \frac{\pi}{8} \left( 1 - \frac{a}{L_1} \right) + \frac{u/t+u/\pi}{4S_r} \sqrt{\frac{8\eta}{\rho_0}} \omega \right] + Z_v. \quad (26)$$

Bendras impedansas, išdėstytas skylių plokštumoje bus

$$Z = Z_m + Z_v. \quad (27)$$

Dydis  $\rho_0 c_0 (k_0 e_{ef})$  yra reali spinduliavimo impedanso dalis, kuri labai priklauso nuo plyšio geometrinės formos. Nuo jos taip pat priklauso ir pataisa  $2\Delta t$ .

Jeigu garso banga į plokštumą krenta ne normaliniu kampu, o kampu  $\theta$ , tai suradus impedansą, randamas atspindžio koeficientas

$$x = \frac{Z_0 - Z_m \cos \theta}{Z_0 + Z_m \cos \theta} \quad (28)$$

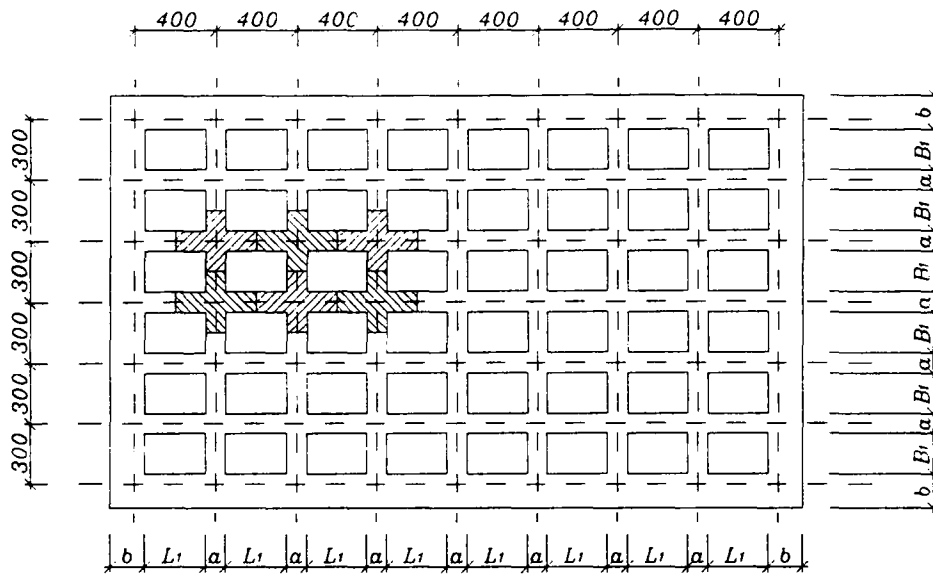
ir bendras absorbcijos koeficientas  $\alpha = 1 - |x|$ , kuris priklauso nuo  $\theta$ .

Difuziniam laukui apskaičiuoti reikia išvesti vidurkį visais kritimo kampų atvejais, o tai reiškia suintegruoti visus kritimo kampus nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$ . Tokiu būdu gaunama galutinė lubų garso absorbcijos koeficiento reikšmė. Absorbcija, absorbcijos koeficientas ir reverberacijos laikas kompiuteriu buvo apskaičiuoti tam tikrai salei, keičiant lubų geometrinius parametrus.

### 3. Skaičiavimo rezultatai

Naudojant salėje kabamąsias lubas, būtina žinoti, kokią įtaką šios lubos turės salės reverberacijos laikui. Tam būtina apskaičiuoti visos salės garso absorbcijos koeficientų ir bendrosios salės absorbcijos dažninę priklausomybę. Skaičiavimams pasirinkta statoma Lietuvos radijo ir televizijos simfoninio orkestro įrašų studija, kurios akustinį projektą paruošė šio darbo autorius. Šios studijos ilgis 34 m, plotis 22 m ir aukštis 12 m. Skaičiuojant laikėme, kad atstumai tarp plokščių, t.y. plyšio plotis, yra 100 cm. Jis liko toks pat, o keitėsi tik atstumas iki standaus lubų paviršiaus, kuris yra 5, 20, 35, 60, 75 ir 80 cm. Kabamųjų lubų planas pavaizduotas 3 paveiksle.

Kabamųjų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų garso absorbcijos koeficientai ir bendroji lubų



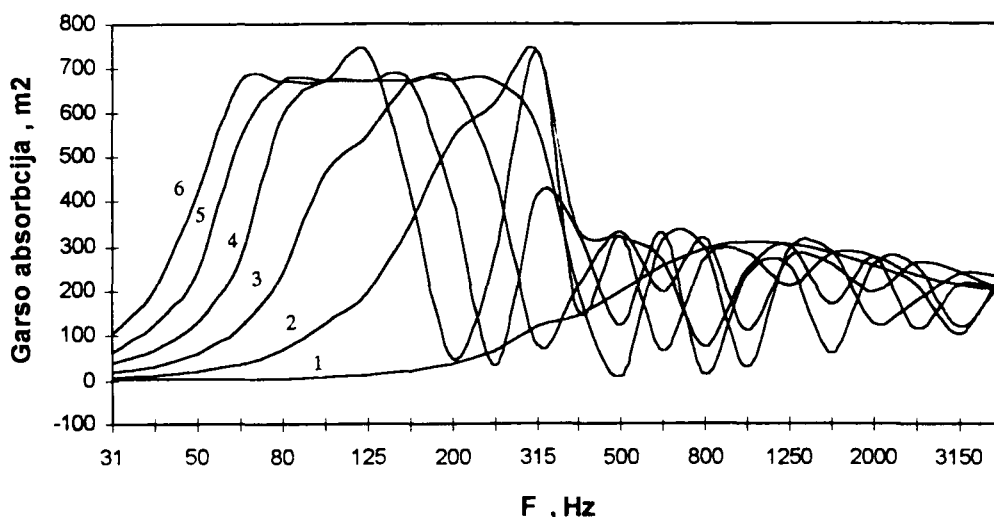
3 pav. Kabamųjų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų išdėstymo schema

absorbcija, skirtingai nuo reverberacijos laiko dažninės charakteristikos, buvo apskaičiuoti neįvertinus visos salės paviršiaus akustinių savybių. Standaus lubų paviršiaus ir kabamųjų lubų plokštumų absorbcijos koeficientai buvo lygūs 0, sienų absorbcijos koeficientai - nuo 0,02 iki 0,04, grindų - nuo 0,04 iki 0,07. Skaičiuota su sąlyga, kad salėje yra 100 atlikėjų, o jų absorbcijos koeficientai - nuo 0,3 iki 0,7. Taip pat įvertinta garso absorbcija ore, kuri yra nemaža esant aukštiems dažniams o esant 4000 Hz, siekia 200 m<sup>2</sup>. Papildomos garso absorbcijos koeficientai buvo nuo 0,07 esant žemiems dažniams iki 0,03 esant aukštiems. Esant bendram paviršiaus plotui 2910 m<sup>2</sup> papildoma absorbcija keitėsi nuo 204 m<sup>2</sup> esant 125 Hz iki 88 m<sup>2</sup> esant 4000 Hz. Tokiu būdu bendra visos salės paviršiaus absorbcija keitėsi nuo 282 m<sup>2</sup> esant žemiems dažniams iki 446 m<sup>2</sup> esant aukštiems. Vidutinis visų salės paviršių absorbcijos koeficientas nuo 100 iki 2000 Hz yra lygus 0,09-0,11, o esant 4000 Hz - 0,15. Tokios didelės salės, kurios tūris yra beveik 9000 m<sup>3</sup>, absorbcijos koeficientai yra per maži. Todėl salės reverberacijos laikas be kabamųjų lubų gaunamas labai didelis - apie 5 s esant žemiems dažniams ir 3,3-4,8 s esant vidutiniams ir aukštiems. Toks pasirinkimas leis geriausiai nustatyti įvairių plyšių plokčių tarp kabamųjų lubų plokštumų įtaką salės akustiniams rodikliams. Minėti salės absorbcijos koeficientai ir bendroji salės absorbcija buvo įvertinti tik apskaičiavus salės reverberacijos laiko dažninę charakteristiką.

4 paveiksle pavaizduota, kaip kinta kabamųjų lubų bendroji garso absorbcija kintant plokštumos atstumui iki standaus lubų paviršiaus.

Matome, kad pakabinamos lubos su plyšiais tarp plokštumų absorbuoja labai daug garso energijos. Absorbcija turi labai ryškų rezonansinį charakterį. Kai lubų atstumas iki standaus paviršiaus yra tik 5 cm, tai absorbcijos esant žemiems dažniams visai nėra. Ji pasireiškia esant tik aukštiems dažniams ir yra apie 300 m<sup>2</sup>. Šiuo atveju nėra išreikšto rezonanso. Padėtis keičiasi didėjant atstumui iki standaus paviršiaus. Kai  $H = 20$  cm, tai absorbcija turi ryškų rezonansinį charakterį ir jos maksimumas esant 315 Hz siekia apie 700 m<sup>2</sup>. Esant žemiems ir aukštiems dažniams absorbcija staigiai mažėja. Didėjant lubų atstumui iki standaus paviršiaus rezonansinis dažnis pasistumia žemų dažnių diapazono link ir rezonansinės kreivės plotis nuolat didėja. Tai aiškiai matyti lyginant 2 ir 6 kreives, kurių minėtas atstumas yra 20 ir 80 cm. Esant 65 cm atstumui maksimali absorbcija, kuri yra apie 700 m<sup>2</sup>, užima 80-160 Hz dažnių intervalą. Kai šis atstumas pakinta visai nedaug - iki 80 cm, tai maksimali absorbcija išlieka tokia pati - apie 700 m<sup>2</sup>, bet jos dažnių diapazonas prasiplečia nuo 63 iki 200 Hz.

Garso absorbcija labai priklauso nuo garso bangos kritimo kampo. 5 paveiksle pavaizduota, kaip kinta lubų garso absorbcijos plotas, keičiantis bangos kritimo kampui.

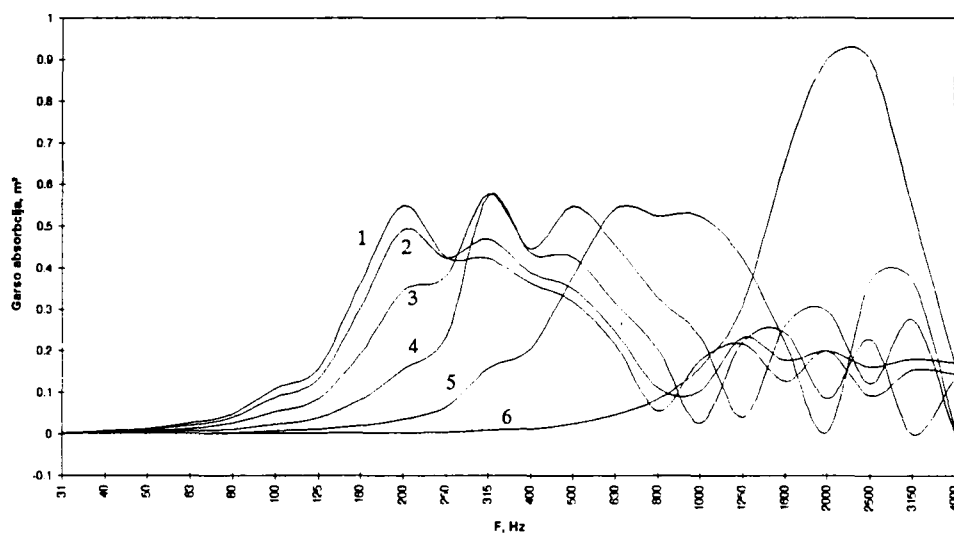


4 pav. Kabamųjų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų garso absorbcijos priklausomybė nuo atstumo tarp plokštumos ir standaus lubų paviršiaus. Plyšio plotis 100 cm. 1, 2, 3, 4, 5 ir 6 atstumas iki standaus paviršiaus atitinkamai 5, 20, 35, 50, 65 ir 80 cm

Iš grafiko matyti, kad esant nedideliam  $5^\circ$  ir  $20^\circ$  bangos kritimo kampui (1 ir 2 kreivės), maksimali absorbcija esant 200 Hz yra 400  $m^2$ . Didėjant šiam kampui, rezonansas pasistumia aukštų dažnių link, o absorbcijos plotas nesikeičia. Didžiausia absorbcija yra tada, kai bangos kritimo kampas yra  $80^\circ$ , t.y., kai banga beveik šliaužia plokštės paviršiumi. Šiuo atveju rezonansas vyksta esant 2200 Hz ir maksimali lubų absorbcija yra net apie 700  $m^2$ .

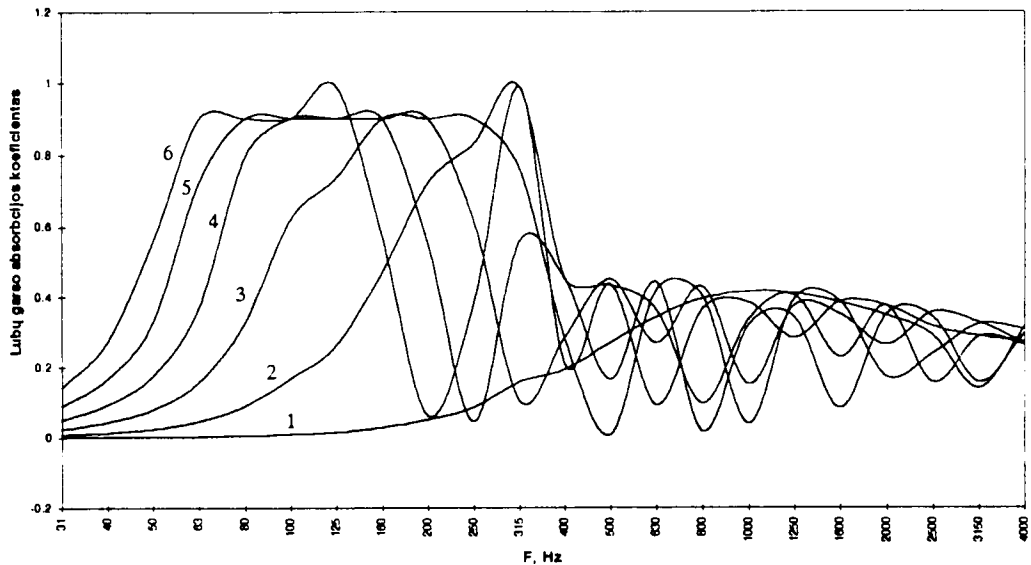
Konstrukcijos garsą absorbuojančias savybes visada geriau charakterizuoja jos garso absorbcijos koeficientas. Jis paprastai gaunamas dalijant bendrąją absorbciją iš paviršiaus ploto. 6 paveiksle pavaizduota, kaip kinta garso absorbcijos koeficientas kintant lubų atstumui iki standaus paviršiaus.

Absorbcijos koeficiento kitimo charakteris yra toks pat, kaip ir garso absorbcijos. Maksimali jo reikšmė yra apie 0,9 ir yra labai didelė. Maksimalus garso absorbcijos koeficientas yra tada, kai lubų atstumas iki standaus paviršiaus yra 80 cm.

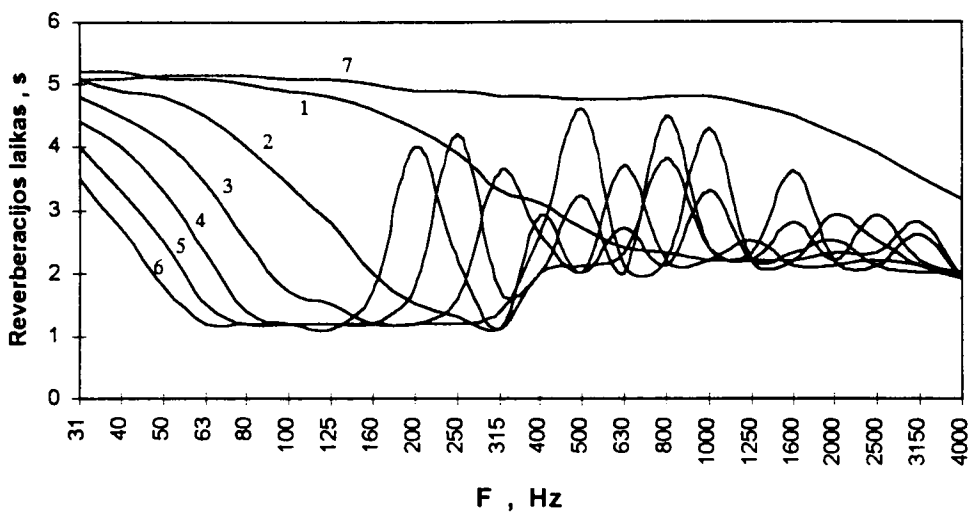


5 pav. Kabamųjų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų garso absorbcijos priklausomybė nuo bangos kritimo kampo. Plyšio plotis - 50 cm, atstumas iki standaus lubų paviršiaus - 20 cm. 1, 2, 3, 4, 5 ir 6 bangos kritimo kampas atitinkamai  $5^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $65^\circ$  ir  $80^\circ$





6 pav. Kabamųjų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų lubų garso absorbcijos koeficientų priklausomybė nuo atstumo tarp plokštumos ir standaus lubų paviršiaus. Plyšio plotis - 100 cm. 1, 2, 3, 4, 5 ir 6 atstumas iki standaus paviršiaus atitinkamai 5, 20, 35, 50, 65 ir 80 cm



7 pav. Kabamųjų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų visos salės reverberacijos laiko priklausomybė nuo atstumo tarp plokštumos ir standaus lubų paviršiaus. Plyšio plotis - 100 cm. 1, 2, 3, 4, 5 ir 6 atstumas iki standaus lubų paviršiaus atitinkamai 5, 20, 35, 50, 65 ir 80 cm

Skaičiuojant buvo laikoma, kad lubų plokštumos yra iš standžios medžiagos, kuri gerai atspindi garsą ir blogai jį absorbuoja. Vadinasi pačios lubų plokštumos garso beveik neabsorbuoja. Taigi, jį absorbuoja tik plyšiai tarp šių plokštumų. Vadinasi, apskaičiuojant absorbcijos koeficientą reikia imti ne visų lubų plotą, bet tik plyšių plotą. Tada išeina, kad maksimalus plyšių garso absorbcijos koeficientas yra ne 0,9, bet 2,0. Jo kitimo charakteris yra toks pats, kaip ir visų lubų garso absorbcijos koeficiento. Tai galima paaikškinti tuo, kad rezonanso metu padidėja absorbcijos plotas, t.y. rezonatoriaus efektyvumas. Rezonansinės kreivės pločiui įtakos turi rezonatoriaus tūris.

Garso absorbcijos koeficientą reikia žinoti tam, kad galima būtų apskaičiuoti visos salės reverberacijos laiką. Jo kitimas pavaizduotas 7 paveiksle.

Skaičiavimo rezultatai rodo, kad gaunamas labai didelis reverberacijos laiko sumažėjimas esant žemiems

dažniams. Jis yra net 4 sekundės. Tai lemia didelė garso absorbcija esant šiems dažniams ir maža visos salės garso absorbcija. Reverberacijos laiko kitimui didelę įtaką daro plokštumos atstumas iki standaus paviršiaus. Kai jis lygus tik 5 cm (1 kreivė), tai šis laikas esant žemiems dažniams beveik nesumažėja, o esant aukštiesiems sumažėja net iki 3 sekundžių.

#### 4. Išvados

1. Kabamų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų garso absorbcija esant pastoviam plyšio pločiui labai priklauso nuo jo atstumo iki standaus lubų paviršiaus. Jam didėjant absorbcijos maksimumas atsiranda vis prie žemesnių dažnių.

2. Didėjant garso bangos kritimo kampui garso absorbcijos maksimumas persistumia aukštų dažnių link.

3. Kabamų lubų su kryžiaus formos plyšiais tarp plokštumų garso absorbcijos koeficientas siekia apie 0,9 ir jo maksimumas yra prie rezonansinio dažnio. Šis dažnis turi tuo mažesnes reikšmes, kuo didesnis kabamųjų lubų atstumas iki standaus paviršiaus.

#### Literatūra

1. F.P. Mechel. About perforated metal sheets on absorbing layers // ACTA ACUSTICA, 1, 1993, p. 175.
2. U. Ingard, R.H. Bolt. Absorption characteristics of acoustic materials with perforated facings // J. Acoust. Soc. Am., 23, 1991, p. 533.
3. P. Guignouard, M. Meisser, J. F. Allard, P. Rebillard, C. Depollier. Prediction and measurement of the acoustic impedance and absorption coefficient at oblique incidence of porous layers with perforated facings // Noise Control Eng. J., 36, 1991, p. 129.
4. B. Brouard, J.F. Allard, H. Bruneau, W. Lauriks, C. Verhaegen. Acoustical impedance and absorption coefficient of porous layers covered by a facing of parallel slits // Noise Control Eng. J., 41, 1993, p. 289.
5. E. Skudrzyk. The foundation of acoustics. V. 2. Springer-Verlag. Wien, New York. 1971.

Įteikta 1996 03 21

## SOUND ABSORPTION CALCULATION IMPEDANCE METHOD FOR RESONATOR CEILING

### V. Stauskis

#### Summary

The theoretical model of the suspended ceiling interspaced between the plane surfaces along and across the hall is analysed. The impedance method is used.

A computer program has been developed to calculate, using the obtained formula, the sound absorption factors of the suspended interspaced ceiling for the reading hall, the total absorption of this hall and the time of reverberation with varying width of the airspaces and their distance from the stiff plane surface. The obtained calculation results show the significant increase of the total hall absorption for the falling down wave frequency. For a suitably selected width, number and distance from the stiff plane surface of the airspaces, it is possible to get the same acoustic absorption effect as for the special sound absorbing structures.