

UTICAJ TAMPON-ZONE MALE VELIČINE NA PRENOŠENJE BUKE IZ JEDNE PROSTORIJE U DRUGU

Husnija Kurtović
 Elektrotehnički fakultet, Beograd

Sadržaj – U ovom radu su prikazani teorijski obrasci pomoću kojih se proračunava zvučna izolovanost između tri spregnute prostorije kada prvu i treću prostori razdvaja druga prostorija kao tampon-zona i kada se sprega ne ostvaruje pomoću slobodnih otvora, nego preko lakih pregrada slabe izolacione moći. Poseban osvrt je dat na slučaj kada jedna od kritičnih pregrada nisu vrata nego zavesa. Takođe je objašnjen i postupak merenja parametara zavesa, potrebnih za proračun. Pokazalo se da se pomoću ovakve tampon-zone može dobiti poboljšanje izolovanosti od 5 do 10 decibela.

1. UVOD

Poznato je da se problem izolovanosti jedne prostorije od druge, ako između njih postoje vrata, efikasnije i jeftinije rešava ugradnjom dvostrukih vrata koja su na nešto većem međusobnom razmaku, nego jednostrukim vratima koja onda moraju biti specijalne konstrukcije. To, međutim, po pravilu ne dolazi u obzir kad se radi o nekim javnim prostorijama, kao što su ulazni hol i sala za publiku, gde bi dvostruka vrata ometala brzu evakuaciju sale. Dvoja vrata na putu izlaska publike moguća su samo ako između njih postoji relativno veliki, potpuno slobodan prostor koji preuzima ulogu tampon-zone, a pritom ne ometa kretanje publike.

Pri rekonstrukciji postojeće sale izgradnja komotne tampon-zone najčešće ne dolazi u obzir i sad se postavlja pitanje: može li se ona ipak formirati kao manji prostor, postavljajući umesto drugih vrata zavesu (koja ne ometa evakuaciju), i može li se na ovaj način ostvariti iole značajno poboljšanje izolovanosti.

2. TEORIJSKA ANALIZA

Analiza se vrši za tri prostorije označene sa 1, 2 i 3 na sl. 1. Površine koje, što se tiče zvučne izolacije, predstavljaju slabu tačku pregrade – a to su vrata ili zavesa – obeležene su na sl. 1 sa S_{12} i S_{23} , a poznati su i njihovi koeficijenti apsorpcije i transmisije zvuka (α i τ). Pretpostaviće se da u sva tri prostora, dakle i u relativno maloj tampon-zoni, imamo homogeno i difuzno zvučno polje. Naime, problem prodiranja buke iz prostorije 1 u prostoriju 3 u praksi se najčešće javlja u slučaju foajea i sale, a tada buku stvaraju ljudski glasovi u foajeu, gde su dominantne srednje frekvencije, za koje se može smatrati da su i u relativno malom, ali doduše prigušenom prostoru, bar približno ispunjeni uslovi za postojanje homogenog i difuznog zvučnog polja. Ako je muzika izvor buke u prostoriji 1, onda se problem ne može rešiti pomoću lakih pregrada, kao što su zavesa.

Polazne jednačine, iz kojih se, uzimajući u obzir pozitivne i negativne priraštaje zvučne energije, mogu naći "intenziteti" zvuka J_1, J_2 i J_3 u sve tri prostorije (vidi lit. [1]), glase:

$$\begin{aligned} \frac{dJ_1}{dt} &= \frac{P_{a1}c}{V_1} - \frac{J_1 A_1 c}{4V_1} + \frac{J_2 S_{12} c \tau_{12}}{4V_1} \\ \frac{dJ_2}{dt} &= \frac{J_1 S_{12} c \tau_{12}}{4V_2} - \frac{J_2 A_2 c}{4V_2} + \frac{J_3 S_{23} c \tau_{23}}{4V_2} \\ \frac{dJ_3}{dt} &= \frac{J_2 S_{23} c \tau_{23}}{4V_3} - \frac{J_3 A_3 c}{4V_3} \end{aligned} \quad (1)$$

gde su

P_{a1} – snaga zvučnog izvora u prostoriji 1,

$$A_1 = A_{10} + \alpha_{12} S_{12},$$

$$A_2 = A_{20} + \alpha_{12} S_{12} + \alpha_{23} S_{23},$$

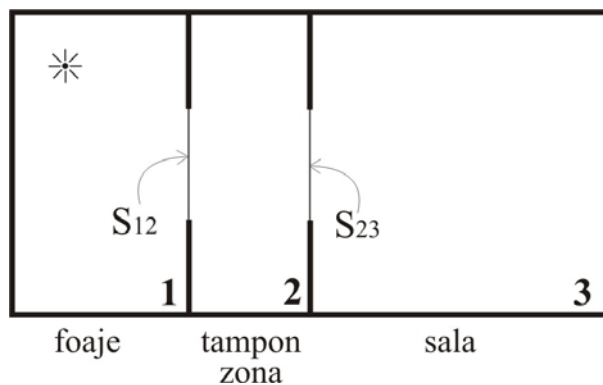
$$A_3 = A_{30} + \alpha_{23} S_{23},$$

pri čemu su A_{10}, A_{20} i A_{30} apsorpcije prostorija bez apsorpcija površina S_{12} i S_{23} ,

V_1, V_2 i V_3 – zapremine prostorija,

α i τ – koeficijenti apsorpcije i transmisije površina S_{12} i S_{23} , i to u slučaju kad se iza tih površina nalazi veliki slobodan prostor,

J – veličina $p^2 / \rho c$, tj. proizvod gustine zvučne energije E i brzine prostiranja zvuka c .



Slika 1 - Šematski prikaz položaja tampon zone.

Ovde nas interesuje stacionarno stanje, kad su izvodi na levoj strani jednačine (1) ravni nuli. Dobija se sistem od tri jednačine sa tri nepoznate, iz kojih se mogu naći i pojedinačni "intenziteti" u stacionarnom stanju, J_{10}, J_{20} i J_{30} , kao i njihovi odnosi, što je ono što nas u ovom slučaju interesuje. A oni glase:

$$\frac{J_{10}}{J_{20}} = \frac{A_2 A_3 - S_{23}^2 \tau_{23}^2}{S_{12} \tau_{12} A_3}$$

$$\frac{J_{20}}{J_{30}} = \frac{A_3}{S_{23} \tau_{23}} \quad (2)$$

$$\frac{J_{10}}{J_{30}} = \frac{A_2 A_3 - S_{23}^2 \tau_{23}^2}{S_{12} \tau_{12} S_{23} \tau_{23}}$$

Ako se uzme u obzir prva od jedn. (2), i to za slučaj da nema prolaska zvuka u treću prostoriju, dakle $\tau_{23} = 0$ znajući pritom da je $\tau_{12} = 10^{-R_{12}/10}$, gde R predstavlja izolacionu moć, dobija se poznati obrazac za izolovanost dve prostorije (u decibelima) koji glasi:

$$D_{12} = L_1 - L_2 = 10 \log A_2 / (S_{12} \tau_{12})$$

$$= R_{12} + 10 \log (A_2 / S_{12}). \quad (3)$$

Ako se uzme u obzir poslednja od jedn. (2) i pretpostavi da $S_{23}^2 \tau_{23}^2$ ima malu vrednost prema proizvodu $A_2 A_3$, drugim rečima da je izolaciona moć pregradnih elemenata (uzmimo da su u pitanju solidna vrata) tolika da nema značaja uticaj povratnog zvuka iz prostorije 3, dobija se da je (u decibelima):

$$D_{13} = R_{12} + R_{23} + 10 \log (A_2 / S_{12}) + 10 \log (A_3 / S_{23})$$

To potvrđuje da se pomoću tampon-prostora praktično sabiraju zvučne izolovanosti od prve do treće prostorije.

Može se pokazati da ovaj zaključak važi i kad jedna pregrada, neka to bude S_{23} , ima relativno malu izolacionu moć. Bez tampon-prostora slabljenje zvuka iz prostorije 1 u prostoriju 3 iznosilo bi prema prvoj jedn.(2), gde treba uzeti A_3 umesto A_2 :

$$g_{13b} = \frac{A_3}{S_{12} \tau_{12}}.$$

Sa tampon-zonom slabljenje g_{13s} bi bilo dato trećom jednačinom (2). Odnos ova dva slabljenja, $g_{13s}/g_{13b} = d_{13}$ daje poboljšanje slabljenja između prostorija 1 i 3. Dobija se:

$$d_{13} = \frac{A_2}{S_{23} \tau_{23}} \frac{S_{23} \tau_{23}}{A_3} \quad (4)$$

Koliko god veliko bilo τ_{23} , a ne može biti veće od jedan, drugi član izraza (4) je mali prema prvom jer je prostorija 3 po pravilu sala čija je apsorpcija A_3 mnogo veća od površine pregradnog elementa prema tampon-zoni (zavesa). Iz istog razloga može se smatrati da se A_3 u izrazima za g_{13b} i g_{13s} , dakle bez postojeće tampon-zone ili sa njom, praktično ne menja.

Zaključak je da ostvareno poboljšanje izolovanosti pomoću tampon-zone iznosi:

$$\Delta D = 10 \log d_{13} = R_{23} + 10 \log A_2 / S_{23} \quad (5)$$

te da, logično, pored što veće izolacione moći zavesa, treba nastojati da se poveća apsorpcija same tampon-zone.

Izolaciona moć zavesa (na najvažnijim srednjim frekvencijama) može biti između 5 i 10 dB, pa ako se

postigne da A_2 bude bar dva do tri puta veće od S_{23} , poboljšanje izolovanosti može biti značajnih desetak decibela.

3. IZNALAŽENJE POTREBNIH ELEMENATA ZA PRORAČUN

Izraz za ΔD traži poznavanje izolacione moći zavesa i njenog koeficijenta apsorpcije koji se krije u veličini A_2 , a doprinos apsorpcije zavesa ukupnoj apsorpciji A_2 nije najčešće beznačajan jer se radi o tampon-zoni po pravilu male veličine. U literaturi se mogu naći primeri izmerene izolacione moći poroznih materijala, ali to neće biti od pomoći za odabranu zavesu jer je od velikog značaja procenat njene nabranosti, drugim rečima njena efektivna debljina. Osim toga, praktično nigde nema mernih podataka o koeficijentu apsorpcije poroznih materijala u slučaju kad je iza njih veliki slobodan prostor, što je ovde slučaj.

Pokušaj proračuna zapeo bi pre svega na nepoznavanju uticaja nabranosti. Inače, do drugog važnog podatka za proračun, do tzv. podužne otpornosti strujanja, moglo bi se makar približno doći pomoću literature, a preko sličnosti sa drugim poroznim materijalima. Treba ovom prilikom bar naglasiti to da će veću izolacionu moć imati materijali sa većom otpornošću strujanja, dakle gušći materijali.

Iz prethodnih konstatacija nameće se zaključak da se do potrebnih parametara zavesa može doći jedino merenjem. U jednoj laboratoriji za akustiku koja raspolaže sa dve reverberacione prostorije 1 i 2, povezane preko otvora površine S_{12} , može se standardizovanim postupkom naći (vidi izraz (3))

$$R = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A_{20} + S_{12} \alpha}{S_{12}} \quad (6)$$

gde su sada α i R parametri zavesa, a A_{20} apsorpcija prijemne prostorije kad se preko otvora postavi nea masivna pregrada koja ima vrlo mali koeficijent apsorpcije.

Iz obrasca 6 vidi se da je potrebno poznavati i koeficijent apsorpcije zavesa da bi se izračunala izolaciona moć R , a ta veličina je potrebna i u proračunima u praksi da bi se našla apsorpcija tampon-prostora, tj. A_2 u izrazu (5). Taj se koeficijent ne može naći, kako bi se u prvi mah očekivalo, mereći u istoj prostoriji (1 ili 2, bez obzira) vreme reverberacije dva puta, kad se otvor S_{12} pri prvom merenju zatvori nekom pregradom koja ima vrlo mali koeficijent apsorpcije, a pri drugom odabranom zavesom. Razlog je taj što se deo zvučne energije koja pređe iz prostorije 1 u prostoriju 2 vraća opet u prostoriju 1 zbog relativno male izolacione moći zavesa. To znači da se time ne dobija koeficijent apsorpcije zavesa iza koje je veliki slobodan prostor. Tačan izraz za koeficijent apsorpcije α_m koje bi na ovaj način bio izmeren dobija se iz povećanja apsorpcije pri drugom merenju koje se nalazi iz prva dva obr. (1) pri stacionarnom stanju ($\tau_{23} = 0$). Rezultat glasi:

$$\alpha_m = \alpha - \frac{S_{12} \tau^2}{A_{20} + S_{12} \alpha} = \alpha - \frac{J_{20}}{J_{10}} \tau \quad (7)$$

gde je i τ parametar zavesa.

Vidi se da će samo za relativno malo τ postojati jednakost $\alpha_m = \alpha$, što naravno važi i za merenje koeficijenta transmisije

τ . (Malo τ se prećutno pretpostavlja pri merenju izolacione moći masivnih pregrada.)

Izmerena razlika nivoa L_1-L_2 , pretvorena u odnos J_{10}/J_{20} , koja je nađena radi primene u obrasca (6) može se, međutim, iskoristiti da se pomoću prvog izraza u jedn. (2) (naravno uz $S_{23}\alpha_m = 0$ jer treća prostorija ne postoji) nađe τ kao

$$\tau = \frac{J_{20}}{J_{10}} \frac{A_{20} + S_{12} \alpha}{S_{12}} \quad (8)$$

Eliminišući τ iz (7) i (8) nalazi se:

$$\alpha = \frac{\alpha_m + (A_{20}/S_{12})(J_{20}/J_{10})^2}{1 - (J_{20}/J_{10})^2} \quad (9)$$

Sa α dobijenim iz (9) nalazi se pomoću obr. (6) i stvarna izolaciona moć zavese, potrebna za proračune kao:

$$\tau = (\alpha - \alpha_m) J_{10} / J_{20}$$

Kao primer, može se pretpostaviti da je merenjem dobijeno $J_{20}/J_{10}=0,2$; $\alpha_m=0,6$ i $A_{20}=2\text{m}^2$, a da je $S_{12}=2\text{m}^2$. Primenom ovih vrednosti u gornjim obrascima nalazi se $\alpha = 0,67$ i dalje $R = 4,5\text{ dB}$.

Očigledno da bi za potrebe ovih merenja mogle poslužiti i dve susedne sonorne prostorije (dakle u dovoljnoj meri ispražnjene učionice, kancelarije), između kojih postoje samo jedna vrata za koja se ne postavljaju nikakvi posebni zahtevi. Posebno je važno da jedna od dve prostorije bude dovoljno sonorna kako bi se u njoj dobila dosta velika razlika u vremenu reverberacije kad su vrata zatvorena i kad je otvor vrata prekriven zavesom koja se ispituje. Još bi povoljnije bilo da ta vrlo sonorna prostorija ima i prozor jer bi se onda, mereći jedno vreme reverberacije sa zatvorenim prozorom, a drugi put stavljajući zavesu na otvoren prozor izmerila direktno potrebna vrednost α . Ne treba smatrati da se merenjem u "običnim" prostorijama umesto u laboratoriji dobijaju u pogledu pouzdanosti neupotrebljive vrednosti. Zar se izolaciona moć na terenu ne meri u istim takvim uslovima?

Pri merenju nivoa zvuka i vremena reverberacije bilo u laboratoriji, bilo na terenu, u svemu (broj mernih mesta, merni položaji) treba postupiti po odgovarajućim standardima

JUS-ISO za merenje izolacione moći pregradnih elemenata i koeficijenta apsorpcije materijala. Zavesu treba postaviti preko otvora na način tako da vazdušnih obilaznih puteva (fuga) bude što manje (mada oni kod pregrada sa malom izolacionom moći utiču znatno manje nego inače).

4. ZAKLJUČAK

Pokazalo se da se teorijskim putem ne može doći ni do izolacione moći, ni do koeficijenta apsorpcije poroznog materijala koji se koristi kao laka pregrada između dve prostorije. Čak i uz poznavanje svih parametara, teorija bi važila (vidi na primer [2] i [3]) za ravne nenabrane zavese. Ostaje dakle kao jedini put merenje (koje se – za utehu - ne mora obavljati u propisno izgrađenoj laboratoriji) uz primenu nešto drukčijih obrazaca od onih koji važe za masivnije pregrade.

LITERATURA

- [1] H. Kurtović, "Osnovi tehničke akustike",
- [2] W. Fasold, E. Sonntag, "Bauakustik", Verlagsgesellschaft R. Mueller, Koeln, 1971.
- [3] H. Kurtović, "Proračun izolacione moći lake dvostruke pregrade", XLVII ETRAN, Herceg Novi, 2003.

Abstract - In this paper one treats a special case of three coupled rooms, when the coupling elements are not apertures but light partitions. Being so, both absorption and transmission coefficients of the partitions (as well as acoustic characteristics of the rooms) determine the squared sound pressure relations in every coupled space. Using these formulas one can evaluate the steady state level differences between the rooms. A curtain as a partition between the second and the third room can provide an overall improvement of 5 to 10 dB. A procedure of measuring the necessary parameters of the curtain is explained.

INFLUENCE OF A SMALL BUFFER SPACE ON SOUND TRANSMISSION BETWEEN TWO ROOMS

H. Kurtović