

ODREĐIVANJE SLABLJENJA KOD KOMORNIH PRIGUŠIVAČA

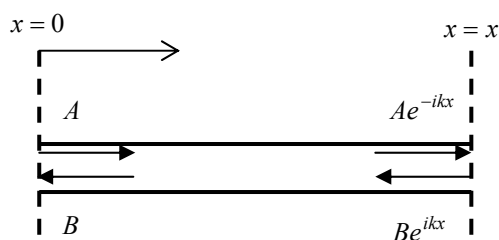
Miloš Radisavljević, Milan Milovanović, "Zastava automobili"
 DRP Institut za automobile u Kragujevcu

Sadržaj – Rad predstavlja jedan od mogućih načina određivanja atenuacije kod komornih prigušivača koji se koriste kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Korišćena je klasična teorija prostiranja zvuka u cevima za dobijanje jednačina slabljenja za prigušivače različite geometrije. Akustička impedansa je definisana kao odnos pritiska zvučnog talasa i masene brzine talasa, jer upravo masena brzina ostaje konstantna prilikom prolaska talasa kroz mesto spajanja dve cevi različitih prečnika pri čemu su srednje temperature sa obe strane različite.

1. UVOD

Prigušivanje buke zasnovano je na principu apsorbovanja i reflektovanja zvučne energije, interferenciji zvučnih talasa, a postoji mogućnost da se i hlađenjem snizi buka. Prigušivači su obično složene konstrukcije i sastoje se od više prostih prigušivača komornog i rezonatorskog tipa. Po principu rada prigušivači dele se na dva tipa aktivne i reaktivne. Reaktivni prigušivači predstavljaju veliki akustički otpor za određene frekvencije gasa u cevovodu. Ta frekvencija zavisi od mase i elastičnosti gasa u ćelijama prigušivača. Kao rezultat javlja se pojava refleksije dela akustičke energije nazad ka izvoru, ili višestruko napred – nazad, čime se sprečava prenos buke iza prigušivača. Prigušenje kod aktivnih prigušivača postiže se tako što se kinetička energija gasa pretvara u toplotu u porama tj. rastresitoj strukturi aktivne materije. Kao aktivna, apsorpciona materija može biti staklena i kamena vuna, azbestna vlakna, sintetičke vate, aluminijska i čelična vuna, kao i mnogi drugi materijali vlaknaste strukture. Koji će materijali biti korišćeni zavisi prvenstveno od namene prigušivača buke. Često ovi materijali moraju da izdrže visoke temperature – da ne gore, vibracije, da budu otporni na truljenje itd. Po načinu apsorbovanja buke mogu biti: sa rednom i paralelnom frikcijom.

Akustička impedansa u ovom radu definisana je kao odnos talasa zvučnog pritiska i masene brzine gasa, prof. Fukuda [2]. Data definicija predstavlja prednost u odnosu na odnos pritiska prema zapreminskoj brzini, jer masena brzina ostaje konstantna kroz veze dve cevi različitog prečnika.



Sl.1. Šema prostiranja talasa u cevima

Na slici 1 data je principijelna šema prostiranja talasa u cevima, čiji je matematički izraz dat jednačinom (1). Jednačinom (2) i (3) data je promena pritiska u cevima.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$p = Pe^{i\omega(t-x/c)} \quad (2)$$

$$p = Ae^{-ikx} \quad (3)$$

gde je $A = Pe^{i\omega t}$, a $k = \omega/c$

U tabeli 1 date su osnovne jednačine koje se koriste kod ovog postupka.

Tabela 1. Karakteristične jednačine

| | $x = 0$ | $x = x$ |
|--|---|--|
| Pritisak kompresionog talasa | A | Ae^{-ikx} |
| Pritisak reflektovanog talasa | B | Be^{ikx} |
| Ukupni pritisak | $p_0 = A + B$ | $p_x = Ae^{-ikx} + Be^{ikx}$ |
| Kompresiona masena brzina | $\frac{A}{\Delta}$ | $\frac{Ae^{-ikx}}{\Delta}$ |
| Reflektovana masena brzina | $\frac{B}{\Delta}$ | $\frac{Be^{ikx}}{\Delta}$ |
| Rezultujuća brzina | $v_0 = \frac{A - B}{\Delta}$ | $v_x = \frac{Ae^{-ikx} - Be^{ikx}}{\Delta}$ |
| Ekvivalentna impedansa | $\xi_0 = \frac{p_0}{v_0} = \frac{A + B}{A - B}$ | $\xi_x = \frac{Ae^{-ikx} + Be^{ikx}}{Ae^{-ikx} - Be^{ikx}} \Delta$ |
| $\xi_0 = \Delta \frac{\xi_x \cos kx + i \Delta \sin kx}{\Delta \cos kx + i \xi_x \sin kx}$ | | |

1. OSNOVNE JEDNAČINE ZA PRIGUŠENJE

Ocena efektivnosti (slabljenje) jednokomornog prigušivača na osnovu klasične akustičke teorije izračunava se iz formule (4).

$$T = 10 \log \left[1 + 0.25 \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kl \right] \quad (4)$$

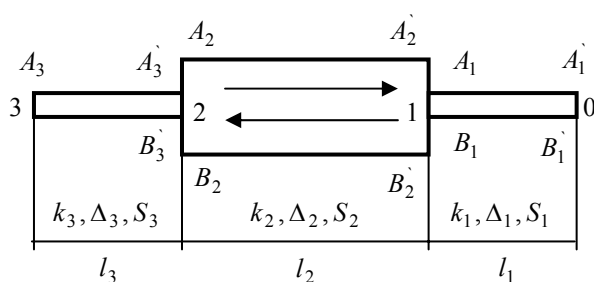
gde je: $m = S_2/S_1$ - stepen proširenja (odnos preseka komore prema cevovodu),

$k = \omega/c$ - talasni broj,

c (m/s) - brzina zvuka

l (m)- dužina komore

Gubici prenošenja u odsutnosti stalnog toka fluida predstavljaju familiju krivih gde se transmisioni gubitak periodično ponavlja svakih 2π radijana. Rezultat važi kada prečnik komore u odnosu na talasnu dužinu zadovoljava odnos $D \leq (3,832/\pi)\lambda$. Pri maloj frekvenciji ($kl \rightarrow 0$) ili kada je dužina prigušivača jednaka ($\lambda/2, \lambda, 3\lambda/2$) stojeći talasi su sa pojačanim zvučnim pritiskom na krajevima zidova komore. Ovo ima efekat pojačanja karakteristične impedance provodnika, preseka S_1 , od $\rho c/S$ do $m\rho c/S$, što je direktan uticaj spoljnih i unutrašnjih cevi.



Sl.2. Šematski prikaz komornog prigušivača

Na slici 2 prikazan je šematski izgled jednog komornog prigušivača, sa oznakama pomoću kojih je moguće opisati strujni proces u njemu.

Na kraju prigušivača, "0" – tačka, pritisci su opisani jednačinama (5), (6) odnosno impedanca jednačinom (7).

$$A_1 = A_1 e^{-ik_1 l_1} \quad (5)$$

$$B_1 = B_1 e^{ik_1 l_1} \quad (6)$$

$$Z_1 = \frac{A_1 + B_1}{A_1 - B_1} \Delta_1, \quad Z_1 = Z_0 = j\Delta_0 \quad (7)$$

Pritisak za presečnu tačku "1" dat je jednačinom (8), prenosni pritisci jednačinama (9) i (10) a masena brzina jednačinom (11).

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2 \quad (8)$$

$$A_2 = A_2 e^{-ik_2 l_2} \quad (9)$$

$$B_2 = B_2 e^{ik_2 l_2} \quad (10)$$

$$\frac{A_1 - B_1}{\Delta_1} = \frac{A_2 - B_2}{\Delta_2} \quad (11)$$

U presečnoj tački "2" pritisak je dat jednačinom (12), prenosni pritisci jednačinama (13) i (14) a masajna brzina jednačinom (15).

$$A_2 + B_2 = A_3 + B_3 \quad (12)$$

$$A_3 = A_3 e^{-ik_3 l_3} \quad (13)$$

$$B_3 = B_3 e^{ik_3 l_3} \quad (14)$$

$$\frac{A_2 - B_2}{\Delta_3} = \frac{A_3 - B_3}{\Delta_3} \quad (15)$$

Slabljenje se može odrediti na osnovu jednačine (16).

$$T = 20 \log \frac{P_n}{P_0} \quad (16)$$

Jednačine koje uzimaju u obzir uticaj efekta impedance atmosfere i impedance izvora (motora) uzeti su iz literature [2] i dati su jednačinama (17) i (18).

$$Z_{atm} = j\Delta_0 = \frac{\pi f^2}{c_0} + j\omega \frac{0,6r}{S} \quad (17)$$

$$Z_{mot} = -j\Delta_{m+n+1} = \frac{c_{m+n+1}^2}{j\omega V_{m+n+1}} \quad (18)$$

gde je: c_0 , (m/s) - brzina zvuka na izlazu iz prigušivača.

c_{m+n+1} , (m/s) - brzina zvuka na ulazu u prigušivač,

r , (m) – poluprečnik izlazne cevi

V_{m+n+1} , (cm^3) – zapremina motora

Sređivanjem navedenih jednačina uz odbacivanje onih delova koji sadrže imaginarnu jedinicu dobija se jednačina u konačnom obliku (19), gde je pritisak dat jednačinom (20). Jednačina (21) predstavlja rešenje kada se zanemaruje uticaj impedance atmosfere ($\Delta_0 = 0$).

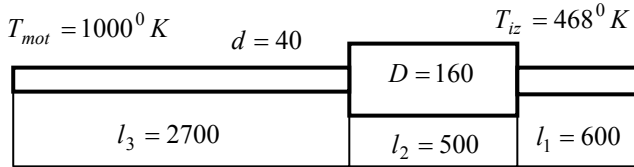
$$T = 8,7 \ln \left| \frac{1}{1 - \frac{\Delta_0}{\Delta_4}} \right| \times |P| \quad (19)$$

$$P = -\frac{\Delta_1}{\Delta_2} \sin k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \cos k_3 l_3 + \frac{\Delta_1 \Delta_3}{\Delta_2 \Delta_4} \sin k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \sin k_3 l_3 + \frac{\Delta_0}{\Delta_2} \cos k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \cos k_3 l_3 + \frac{\Delta_0 \Delta_3}{\Delta_2 \Delta_4} \cos k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \sin k_3 l_3 \quad (20)$$

$$T = 8,7 \ln \left| \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \sin k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \cos k_3 l_3 + \frac{\Delta_1 \Delta_3}{\Delta_2 \Delta_4} \cos k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \sin k_3 l_3 \right| \quad (21)$$

3. REZULTATI MODELIRANJA

Na osnovu izvedenih jednačina izvršeno je modeliranje prigušivača, za vozilo Jugo Koral (motor 1116 cm³) u realnim uslovima, koji se sastojao od jednog komornog prigušivača. Na slici 3 šematski je prikazan izduvni sistem na kome je vršeno modeliranje.



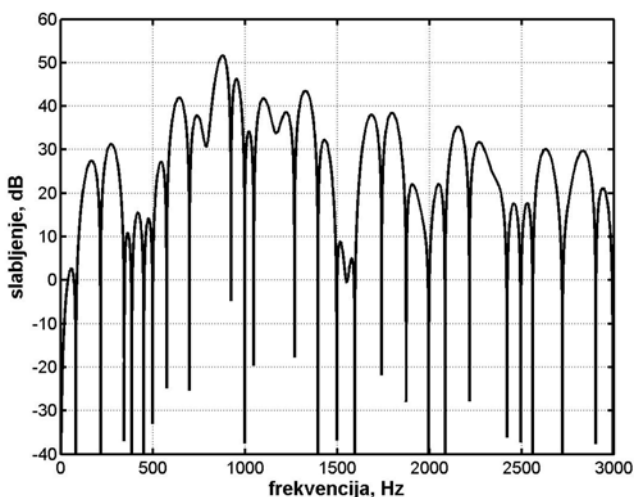
Sl.3. Šematski prikaz komornog prigušivača

Na osnovu jednačine 4 izračunato je slabljenje za komorni prigušivač sa slike 3, a rezultati su prikazani na dijagramu na slici 4. Na istoj slici prikazan je i uticaj temperature gasa na slabljenje, uz pretpostavku da postoji linearni pad temperature duž izduvnog sistema. Korišćenjem teorije talasa, odnosno jednačine (19, 20 i 21) i geometrijskih

$$T = 114,57 - 4,35 \ln \left[(524111 - 0,6f^2)^2 + (0,0000725f^3)^2 \right] + 8,7 \ln \left| \begin{array}{l} 15,0728 \sin(0,008f) \sin(0,0063f) \cos(0,027f) + \\ 0,1451f \sin(0,008f) \sin(0,0063f) \sin(0,027f) + \\ 0,0024f \cos(0,008f) \sin(0,0063f) \cos(0,027f) + \\ 0,000024f^2 \cos(0,008f) \sin(0,0063f) \cos(0,027f) \end{array} \right| \quad (22)$$

$$T' = 8,7 \ln | 15,0728 \sin(0,008f) \sin(0,0063f) \cos(0,027f) + 0,1451f \sin(0,008f) \sin(0,0063f) \sin(0,027f) | \quad (23)$$

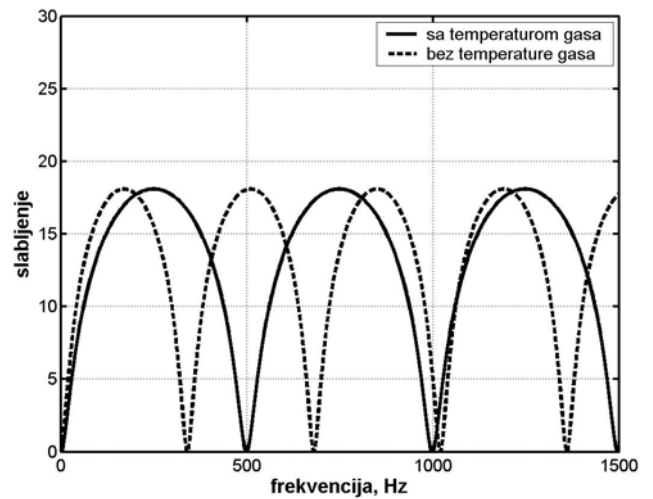
Za datu šemu komornog prigušivača temperatura na ulazu u komoru iznosi 626 (°K) a brzina strujanja 500 (m/s). Poznato je da se povećavanjem dužine komore menja presečna frekvencija odnosno povećavanjem odnosa prečnika ulazne cevi i prečnika komore raste slabljenje. Kod posmatranog primera dužina komore bila je 0,5 (m) a stepen proširenja 16.



Sl.5. Atenuacija komore sa uzimanjem u obzir atmosfere impedance

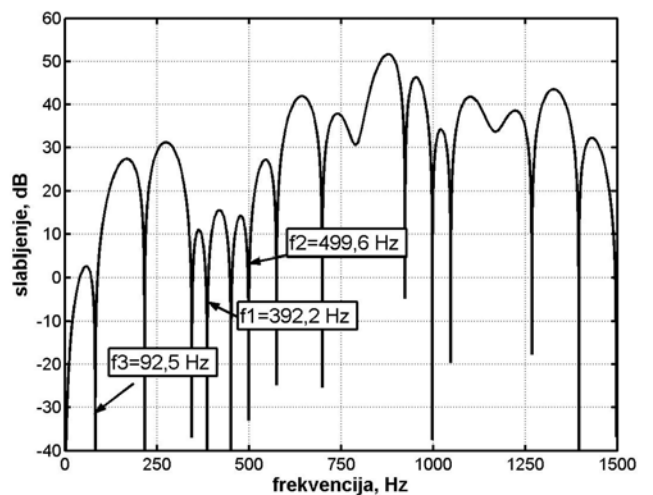
Grafička interpretacija jednačine (22) dat je na slici 5 i 6 a jednačine 23 na slici 7. Na slici 8 predstavljen je njihov uporedni odnos. Slika 6 je ista kao i slika 5 samo što je frekventni opseg prepolovljen radi lakšeg uočavanja

parametara izduvnog sistema, usvojenog realnog modela, dobijene su jednačine (22) odnosno (23).



Sl.4. Slabljenje komornog prigušivača

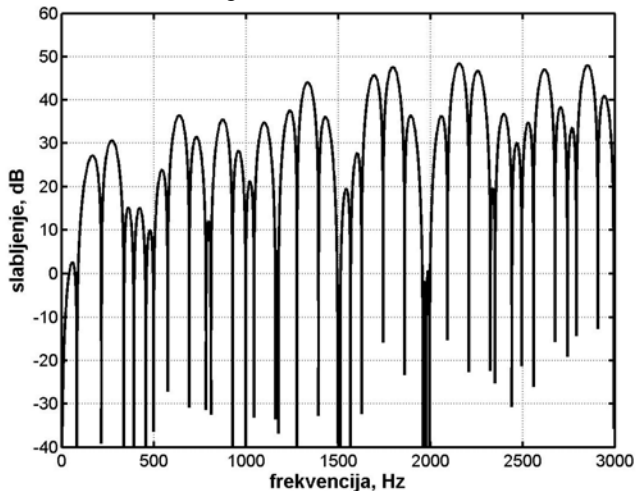
presečnih frekvencija dovodne cevi f3, odvodne f1 i komore f2.



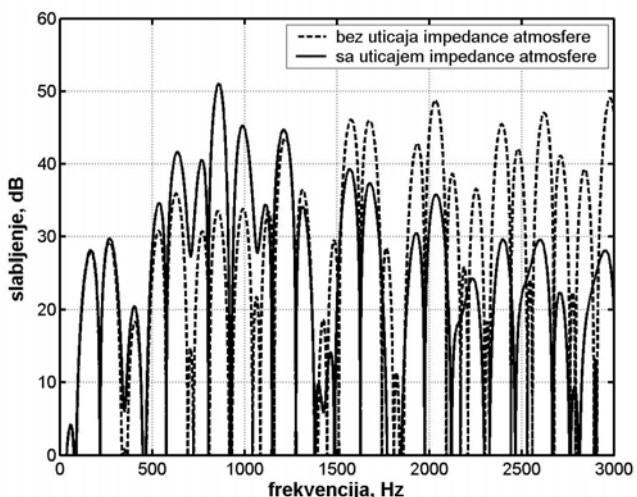
Sl.6. Atenuacija komore sa uzimanjem u obzir atmosfere impedance i označenim frekvencijama cevi i komore

Uticaj impedance atmosfere na niskim frekvencijama nema uticaj. Na srednjim frekventnim područjima od (500 do 1500) Hz dobijaju se niži nivoi slabljenja u odnosu na slučaj kada je impedansa uzeta u obzir. Na višim frekvencijama dobija se lažna slika o dobrom prigušujućem svojstvu izduvnog sistema a da u stvarnosti to nije tako. Slika 9 predstavlja uporedni dijagram slabljenja izduvnog sistema kada se uzima u obzir impedanca atmosfere, kao i slabljenje komore računato na osnovu klasičnog akustičkog proračuna.

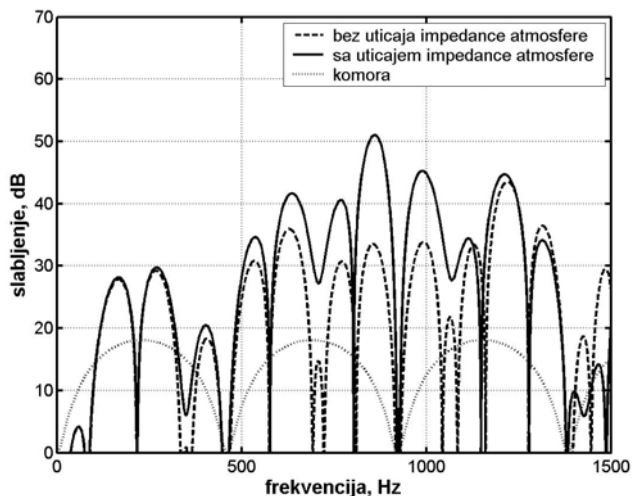
Sa dijagrama se uočava dosta velika razlika u dobjenim slabljenjima. Impedanca izvora, odnosno motora, uzimana je uvek u obzir, osim u slučaju kada je razmatrana samo komora klasičnim akustičkim proračunom.



Sl.7. Atenuacija komore bez uzimanja u obzir atmosferske impedance



Sl.8. Atenuacija komore sa i bez atmosferske impedance



Sl.9. Uporedni dijagram analiziranih slučajeva atenuacije

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazane teorije i dobijenih rezultata može se zaključiti:

Kod određivanje slabljenja, transmissionog gubitka, kod prigušivača neophono je izvršiti dekompoziciju talasa odnosno uzeti u obzir uticaj reflektovanog zvučnog talasa.

Uticaj temperature izduvnog gasa znatno utiče na slabljenje komornih prigušivača.

Uticaj graničnih uslova, njihove impedance znatno utiče na slabljenje naročito na višim frekvencijama.

LITERATURA

- [1] A.V. Sreenath, M.L. Munjal, "Evaluation of noise due to exhaust mufflers," J. Sound Vibration, 12, pp.1-19 1970.
- [2] M. Fukuda, "A study on the exhaust mufflers of internal combustion engine," Bull. J.S.M.E. 6, 22., New York, 1962.
- [3] J.Y.Chung, and D.A.Blaser, "Transfer Function Method of Measuring In-duct Acoustic Properties, I: Theory," J. Acoust. Soc. Am, 68, 907-913 (1980)
- [4] A.F.Seybert, "Two-sensor Methods for the Measurement of Sound Intensity and Acoustic Properties in Ducts," J. Acoust. Soc. Am, 83, 2233-2239 (1988).
- [5] M.L.Munjal and A.G.Doige, "Theory of a Two Source-location Method for Direct Experimental Evaluation of the Four-pole Parameters of an Aeroacoustic Element," Journal of Sound and Vibration, 141(2), 323-333 (1990).
- [6] Z.Tao and A.F.Seybert, "A Review of Current Techniques for Measuring Muffler Transmission Loss," J.Acoust. Soc. Am., 03NVC-38, (2001).
- [7] M.Radisavljević, "Analiza uticaja pojedinih parametara prigušivača na buku automobila", Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima", Bezbednost saobraćaja u XXI veku, 10-11.10.2002. Novi Sad, str. 429-436
- [8] M.Radisavljević, F.Časnji: "Aktuelne tehničke metode za određivanje transmissionog gubitka u prigušivačima", VII Simpozijum Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 2004, 14-15.10.2004. Novi Sad., str.438-445

Abstract – This work presents one possible method of measuring attenuation at chamber mufflers used by engines with internal combustion. The classical theory of sound transmission in pipes has been exploited to evaluate this expression for mufflers of different geometry. Acoustic impedance in this paper is defined as the ratio of sound wave pressure to the mass velocity of the wave, because it is the mass velocity that remains constant across the junction of two pipes of different diameters when the mean temperatures on either side of the junction are different.

DETERMINING ATTENUATION AT CHAMBER MUFFLERS

Miloš Radisavljević, Milan Milovanović