

Meritve hrupa v različnih okoljih in pregled standardov

Martin Kotnik

izr. prof. dr. Vojko Matko, dr. Nikola Holeček Gorenje d.d. (mentorja)
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru
Smetanova 17, SI-2000 Maribor
martin.kotnik@skavt.net, vojko.matko@uni-mb.si, nikola.holecek@gorenje.si

Measurements of noise in different environments and review of standards

Abstract: *The article presents noise as annoying form of sound. Review of legislation considering sound is also presented. Sound, as a physical magnitude is presented with all of its measuring magnitudes. Review of most frequent methods for measuring the sound magnitudes and a few sound magnitude measuring devices are also performed. Results of practical measurements in an older detached house follow in the articles conclusion.*

1 Uvod

Namen dela je raziskati in predstaviti področje meritev zvoka in eksperimentalno potrditi nekatere meritve v laboratoriju in izbranih okoljih.

V okviru dela so našteje direktive evropske unije in slovenska zakonodaja na področju meritev zvoka in zvočnega onesnaženja. Zvok je kot fizikalna veličina teoretično predstavljen z vsemi njegovimi merljivimi veličinami. Opravljen je pregled običajnejših metod za meritve veličin zvoka in kratek opis nekaterih naprav za njihovo meritve. V sklepu pa sledijo praktične meritve v domačem okolju.

2 Pregled zakonodaje

Vsako področje je urejeno z kopico zakonov, predpisov in uredb. Tako je tudi področje meritev zvoka in zvočnega onesnaženja z njim urejeno iz strani Evropske unije in Republike Slovenije. Težnja zakonodaje je zmanjšati zvočno onesnaženje okolja s prekomernim hrupom, ki ga povzročamo z uporabo vozil, strojev in druge hrupne opreme. Zakonodajo iz

tega področja tako lahko razdelimo na naslednja področja[6]:

- hrup v življenjskem okolju,
- hrup motornih vozil in delovnih strojev,
- hrup cestnega, železniškega, ladijskega in letalskega prometa,
- hrup gospodinjskih aparatov,
- hrup v industrijskem okolju in
- varstvo pred hrupom na delovnem mestu.

Zakonodaja se hitro prilagaja tehničnemu napredku, saj je ekologija pomemben del našega vsakdana.

3 Zvok

Zvok, oziroma zvočno valovanje, je pojav, ki ga povzroča zvočni vir. Vir zvoka je lahko vsak materialni delec, ki ima maso in elastičnost in niha v nekem mediju, v področju frekvenc, ki jih človeško uho zaznava. Nihanje delcev se kaže kot periodično nihanje tlaka okrog ravnovesne lege, ki jo v tem primeru predstavlja atmosferski tlak. Dinamično nihanje okrog ravnovesne lege tako imenujemo zvočni tlak in je v primerjavi z atmosferskim tlakom največ za 0,1 Pa nad ali pod njim[1].

Zvočni energijski tok je definiran kot zvočna moč, ki jo zvočni vir odda v vse smeri prostora[5]:

$$P=dW/dt \quad (1).$$

Človeško uho zazna energijo zvočnega valovanja, ki jo slišimo kot zvočno informacijo. Subjektivno določamo kakšna informacija je skrita v tem zvoku. Ali je to razumljiva, koristna informacija ali pa nerazumljiva, nekoristna

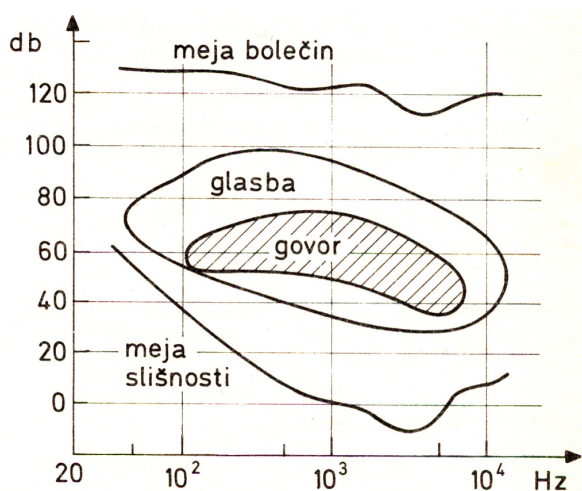
informacija. Nekoristnim in motečim informacijam pravimo hrup, šum ali trušč.

Učinek zvočnega energijskega valovanja na snov na katero naleti, je odvisen od ploskovne gostote zvočnega toka

$$j = dP/dS \quad (2).$$

Človek lahko z svojim glasom proizvede le nekaj mW zvočne moči. Običajno se za spodnji prag slišnosti prevzame gostota zvočnega tlaka $j^* = 1 \text{ pW/m}$. Zgornja meja slišnosti pa znaša brez trajnih poškodb sluha 1 W/m . Enota glasnosti je dB in je definiran kot:

$$J = 10 \log(j/j^*) \quad (3).$$



Slika 1: Razpon frekvenc in glasnosti zvokov, ki jih najpogosteje zaznavamo [5]

Na sliki 1 je prikazano slušno območje človeškega ušesa in njegova odvisnost od frekvence zvoka.

4 Metode za določanje zvočnega tlaka in zvočne moči

4.1 Meritev ravni zvočnega tlaka

Ker lažje merimo zvočni tlak kakor zvočno energijo P , smo razvili metode, s pomočjo katerih lahko določamo zvočno moč z merjenjem ravni zvočnega tlaka L_{peq} :

$$L_{peq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \left(\frac{p_a(t)^2}{p_0} \right) dt \right] \quad (4),$$

kjer je:

- T : čas merjenja,
- $p_a(t)$: nivo zvočnega tlaka v odvisnosti od časa,

- p_0 : referenčni nivo zvočnega tlaka ($20 \mu Pa$).

Tako izmerjene vrednosti ni mogoče direktno uporabiti za preverjanje maksimalno dovoljenih vrednosti. Upoštevati je potrebno specifičnost prostorov merjenja. Izmerjene vrednosti služijo kot osnova za oceno nivoja dovoljenega hrupa. Pri tem je potrebno upoštevati tudi morebitne poudarjene tone in impulzne vrednosti.

4.2 Meritev zvočne moči

Poznamo več metod za določanje zvočne moči. Omenil in opisal bom štiri metode, ki se najpogosteje uporabljajo v merilni praksi. To so primerjalna metoda, metoda določanja zvočne moči z meritvijo hitrosti vibracij, določanje zvočne moči po metodi zvočne intenzivnosti in absolutna metoda v prostem zvočnem polju (gluha soba) in difuzijskem zvočnem polju (odmevnici).

4.2.1 Primerjalna zvočna moč

Primerjalna metoda temelji na načelu primerjalnih meritev zvočne moči referenčnega zvočnega vira in ustreza standardu ISO 6962 in preizkušenega vira v enakih razmerah. Tak postopek lahko izvedemo v difuznem ali prostem zvočnem polju [3]. Raven zvočne moči testnega vira določimo po enačbi:

$$L_W = L'_W + (\overline{L_p} - \overline{L'_p}) \text{ dB} \quad (5),$$

kjer je:

- L_W : znana raven zvočne moči referenčnega vira,
- $\overline{L_p}$: povprečna raven zvočnega tlaka atestiranega vira,
- $\overline{L'_p}$ - ustrežna vrednost referenčnega vira v dB.

4.2.2 Določanje zvočne moči po metodi merjenja hitrosti vibracij

Izsevano zvočno moč aparata lahko določimo na osnovi merjenja hitrosti vibracij na zunanjih površinah vibrirajoče strukture. Tehnika merjenja je opisna v standardu ISO/DIS 7849.

Matematični opis modela temelji na definiciji učinkovitosti sevanja, ki je posredno definirano preko moči izsevanega zvoka:

$$W(f) = \rho c \overline{v^2(f)} S \sigma(f) W \quad (6),$$

kjer je:

- ρc : specifična akustična impedanca,
- $\overline{v^2(f)}$: srednja kvadratična vrednost normalne hitrosti vibracij,
- σ : faktor sevanja (sevalni faktor) s tipično frekvenčno karakteristiko,
- S : površina konstrukcije, ki seva hrup.

4.2.3 Absolutna metoda za določanje zvočne moči

Pri tej metodi določamo ravni nivoja zvočne moči preizkušene zvočne vira z merjenjem ravni zvočnega tlaka L_{peq} v gluhi sobi ali odmevnici (reverberacijska soba) pri vseh frekvenčnih pasovih in A -vrednoteno raven zvočne moči. Odmevnica je primerna za stacionarne širokopasovne vire zvoka, gluha soba pa za nestacionarne vire z močnimi toni diskretnih frekvenc, npr. osnovni toni lopatic in njihovi harmoniki pri ventilatorjih in drugih turbostrojih [Holeček].

4.2.4 Določanje zvočne moči z merjenjem ravni zvočnega tlaka v odmevnici

Odmevnica je prostor, ki absorbira zanemarljivo majhen del zvočne energije (zvočno polje, v katerem je gostota zvočne energije enakomerno razporejena, njen tok pa enak v vseh smereh). Raven zvočne moči vira L_w se izračuna iz povprečne vrednosti izmerjenih ravni zvočnega tlaka $\overline{L_p}$ in karakterističnih parametrov odmevnice:

$$L_w = L_p - 10 \lg \frac{T}{T_0} + 10 \lg \frac{V}{V_0} + 10 \lg \left(1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \lg \left(\frac{B}{1000} \right) - 14 \quad (7),$$

kjer je:

- T : reverbacijski čas sobe v s,
- $T_0 = 1$ s,
- V : celotna prostornina sobe,
- $V_0 = 1$ m³,
- S : celotna površina sobe,

- λ – valovna dolžina zvoka pri srednji frekvenci testiranega pasu v m,
- B – barometriški tlak v mbar.

4.2.5 Določanje zvočne moči z merjenjem ravni zvočnega tlaka v pol-gluhi sobi

Mikrofonska merilna mesta se porazdelijo na način, da se mikrofoni pomika po vzporednih krožnih tirih, razporejenih po merilni polkrogli. Mikrofoni registrirajo zvočni tlak na 20 merilnih mestih. Merilna mesta so definirana v standardu ISO 3745.

Na vsakem merilnem mestu in v opazovanem frekvenčnem območju se meri nivo hrupa in pasovni nivoji zvočnega tlaka med delovanjem vira. Če vsakemu merilnemu mestu pripada enak del velikosti merilne površine, se izračuna nivo na tej površini po enačbi [iso]:

$$\overline{L_p} = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{p_i}} \right] \quad (8),$$

kjer je:

- $\overline{L_{p_i}}$: nivo v i -ti točki v dB,
- N : število merilnih mest.

Nivo zvočne moči L_w vira se izračuna po enačbi:

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{S_0} \right) + C \quad (9),$$

kjer je:

- $\overline{L_p}$ – nivo zvočnega tlaka na merilni površini v dB,
- $S = 2\pi r$,
- $S_0 = 1$ m³,
- C – korekcija v dB zaradi vpliva temperature θ v °C.

5 Merilna oprema:

5.1 Precizijski aparat za meritev zvočnega tlaka 2238 Mediator

Merilnik ustreza razredu 1 instrumentov v skladu z IEC 60651 tip 1. Uporabljeni filtri ustrezajo razredu 1 instrumentov v skladu z IEC 61260: 1995[7].

Opis precizijskega aparata

- priložen mikrofoni tipa 4188 polariziranega za prosto zvočno polje,
- meritveno območje med 25 in 140 dB (odvisno od načina meritve),
- ročna ali avtomatska kalibracija z uporabo ustreznega kalibratorja,
- serijska komunikacija, delovno temperaturno območje med -10 in +50 °C,
- prednaložena dva delovna načina opravljanja meritev,
- občutljivost $\pm 1,5$ dB.

5.2 Merilni sistem PULSE za določanje ravni zvočne moči po absolutni metodi

Vsi elementi merilnega sistema, vključno z mikrofoni in kabli, ustrezajo razredu 1 instrumentov v skladu z IEC 61672-1: 2002. Uporabljeni filtri ustrezajo razredu 1 instrumentov v skladu z IEC 61260: 1995 [2]

PULSE je preizkušena programska oprema za multianalizo, ki uporablja procesiranje signala v realnem času. Osnovne komponente Bruel&Kjaer PULSE merilnega sistema za merjenje zvočne moči so naslednje:

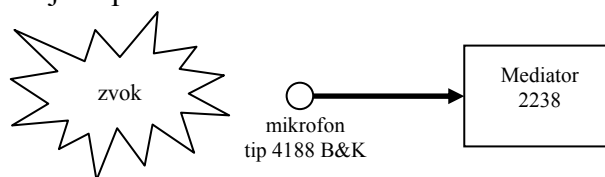
- Enota za zajem 3560D,
- Noise and Vibration Analysis 7771,
- Sound power Application 7799,
- 20 x mikrofonski predojačevalnik DeltaTron-Type 2671 (Brüel & Kjær),
- 20 x mikrofoni model Falcon™ Range ½", tip 4189 A21 (Brüel & Kjær),
- senzorji za temperature, tlak in vlago,
- merilna natančnost $\pm 1,5$ dB.

6 Predstavitev rezultatov eksperimentalnih meritev

Eksperimentalne meritve zvočnega tlaka so bile opravljene v stanovanjski hiši, ki je zgrajena po tipskem načrtu v 80 letih prejšnjega stoletja. Lastnik pripravlja njeno prenovo in eden izmed sklopov prenove zajema izboljšanje zvočne izolacije.

Meritve je pokazala, da hiša leži v okolju, ki velja za mirno okolje. Je dovolj oddaljena od ceste, da zvočna raven znotraj same hiše v popoldanskih urah ne presega 30 dB. Omenili bomo le dve izmed meritev. Meritev ravni

zvočnega tlaka pralnega stroja med centrifugo in raven glasne stereo naprave. Meritve so bile opravljene po merilni shemi na sliki 2.



Slika 2

Pralni stroj običajno deluje ponoči, ko je električna energija cenejša. Nahaja se v pralnici, ki je v kleti hiše in je postavljen direktno na betonska tla pokrita s keramičnimi ploščicami. Zvočna raven v prostoru med delovanjem stroja znaša 71,9 dB. V etaži nad njim znaša 26,9 dB. In v prvi etaži 27,5 dB. Zvočna raven med prvo in drugo etažo zelo upade. Toda frekvenčna analiza po 1/3 oktave frekvenčnega območja, nam pokaže, da so se iz etaže nad strojem, preko konstrukcije, prenesli toni nizkih frekvenc, ki znajo biti zelo neprijetni in jih uho zazna kot ropot. Zvočna moč takšnega stroja, izmerjena po absolutni metodi v polgluhi sobi, znaša 72 dB. Za zmanjšanje tega hrupa nizkih frekvenc je predlagano, da se stroj dvigne in pod njegove noge podloži gumijasto ali penasto podlogo. Tako se zmanjša prenos zvoka na gradbeno konstrukcijo.

Pri meritvi stereo naprave je raven zvočnega tlaka v prostoru znašala 89,6 dB, v prostorih na njegovi levi in desni pa 47 in 47,2 dB. Tu je frekvenčna analiza meritev v sosednjih prostorih pokazala prisotnost tudi višjih frekvenc, ki se slišijo kot trušč. Takšen zvok se ne prenaša dobro preko gradbene konstrukcije. V tem primeru bi bilo treba zamenjati vrata, ki so v objektu še stara in slabo zvočno izolacijska.

7 Zaključek

Meritve v stanovanjski hiši so pokazale slabo zvočno sliko. Zato je smiselno preučiti, kako bi jo bilo z razumnimi stroški čimbolje zvočno izolirati. Tako bi pri menjavi oken pazili tudi na zvočno izolacijo novih oken. Dobro bi bilo zamenjati tudi notranja stavbna vrata, ki morajo biti dobro zvočno izolirna. Pri menjavi parketa pa je treba pod njega namestiti še dodatno zvočno zaščito.

Področje meritev in standardizacije na področju hrupa je kompleksno področje in zahteva široka znanja iz mnogih področij.

8 Literatura

- [1] Čudina, M.: Tehnična Akustika. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 2001
- [2] Holeček, N.: Modeliranje aerodinamičnih lastnosti kondenzatorjev sušilnih strojev nove generacije, doktorsko delo, Ljubljana 2006
- [3] Holeček, N., Semprimožnik M., Primerjava metod določanja zvočne moči vira z merjenjem zvočnega tlaka, zvočne intenzivnosti in hitrosti vibracij, ALPS Adria Acoustic Association. Congress (1; 2003; Portorož) Proceedings of the First Congress of Alps Adria
- [4] ISO 3745:2003, Acoustic – Determination of sound power level of noise source using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms
- [5] Kladnik, R.: Visokošolska fizika 3. del: Valovni pojav - akustika in optika, Državna založba Slovenije, Ljubljana 1989
- [6] Kotnik, M., Standardi in meritve hrupa v različnih okoljih, diplomsko delo, Maribor 2007
- [7] Technical Documentation, 2238 Mediator integrating sound level meter frequency analysis software, Briel&Kjær 1998