

PRILOG ODREĐIVANJU NIVOVA ZVUKA U ZATVORENOM PROSTORU I NJEGOVE MERNE NESIGURNOSTI

Borislav B. Budisavljević, Aleksandar Milenković, Čedomir Drobnjaković, Stevka Baralić, Branislav Zorić
Institut IMS, Laboratorija za akustiku i vibracije
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43

Sadržaj – Rad se bavi određivanjem merne nesigurnosti pri merenju nivoa zvuka u prostoriji. Ekvivalentni nivo i standardna devijacija određivana je u 4 tačke mernog lanca.

1. UVOD

U Laboratoriji za akustiku i vibracije Instituta IMS u toku su merenja koja treba da odgovore na pitanja merne nesigurnosti akustičkih merenja. Podloga za ovu aktivnost je znatno šira i odnosi se na 3 izvora: Direktivu saveta 89/106/EEC koja se odnosi na građevinske materijale, Strategiju za ostvarenje komparativnih rezultata kalibracije EA-2/07 i Nacionalni ekološki akcioni projekt. U sva tri pobrojana dokumenta merenje nivoa zvuka je sa aspekta akustike najznačajniji pokazatelj. Nivo zvuka, uopšte, je osnovna merna veličina i u većini akustičkih merenja: određivanju osobina materijala, merenju zvučne izolacije, određivanju emisije i imisije izvora buke i zvuka uopšte i dr. pa je poznavanje elemenata tačnosti ovih merenja posebno važno.

Merena veličina u većini neakustičkih merenja ima po pravilu nepromenljivu vrednost (ili makar vrlo malo promenljivu vrednost) pa je merna nesigurnost uzrokovana uticajima dobrom poznatim iz teoriji metrologije: metodom merenja, mernim sistemom, uslovima sredine (temperatura, atmosferski pritisak, vlažnost i sl), interakcionim faktorima i izvršiocem merenja. Sa druge strane, veličina koja se određuje u akustičkim merenjima (nivo zvuka) je promenljiva veličina što otežava kako njeno određivanje tako i određivanje njene merne nesigurnosti.

U ovom radu biće prikazan deo rezultata pri određivanju merne nesigurnosti kod merenja nivoa zvuka u laboratorijskim uslovima u polju u zatvorenom prostoru pri pobudi belim šumom reprodukovanim preko dodekaedra. Prostorija je približno paralelopipednog oblika zapremine oko 70m³. Pored napred pobrojanih opštih oslova koju utiču na mernu nesigurnost tokom ovih merenja vodilo se računa o stabilnosti generisanja električnog signala, vremenu reverberacije prostorije, nepromenljivosti parametara koji utiču na difuznost zvučnog polja, stalnost položaja izvora, ponovljivost položaja mikrofona. Cilj je bio procena uticaja varijabilnog polja i ocena uticaja opštih metroloških uslova na mernu nesigurnost pri određivanju nivoa zvučnog polja. Merenja su rađena po tercama u opsegu od 100Hz do 3150Hz. Merenja nivoa su obavljena vrlo efikasno preciznim integracionim fonometrom NL 32 firme RION koji radi ternu i oktavnu analizu u realnom vremenu.

2. ZVUČNO POLJE

Zvučno polje se generiše belim šumom pa se određuje ekvivalentni nivo signala po tercama u nekoliko tačaka mernog lanca za reprodukciju i to: na izlazu generatora belog šuma, na izlazu pojačavača snage, u slobodnom

zvučnom polju ispred zvučnika, u zvučnom polju u zatvorenom prostoru (prostoriji).

Beli šum ima nivo (u svakoj terci) L_{eq} prema relaciji (1) i promene nivoa koje mogu da se okarakterišu standardnom devijacijom s_0 . Standardna devijacija pri uzastopno ponovljenim serijama merenja na izlazu generatora iznosi s_1 , odnosno s_2 na izlazu pojačavača.

$$L_{AeqT} = 20 \log \left\{ \left[\frac{1}{T} \int_{t1}^{t2} p A^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} / p_0 \right\} \quad (1)$$

Pri reprodukciji u slobodnom polju zvučnik doprinosi da promene nivo postaju veće nego osnovnog električnog signala te imaju standardnu devijaciju s_3 . Ako se pak ovaj signal reprodukuje u prostoriji, zbog talasnih pojava, standardna devijacija postaje još veća i iznosi s_4 . U prostoriji, od tačke do tačke, nivo je znatno promenljiv i standardna devijacija iznosi s_5 .

Pri tome je po pravilu:

$$s_0 < s_1 < s_2 < s_3 < s_4 < s_5. \quad (2)$$

Za svaki od ovih slučajeva moguće je govoriti o promenama a) pri uzastopnom ponavljanju kao i b) pri ponavljanjima merenja tokom više dana. Standardne devijacije pri ponavljanju tokom više dana biće obeležene oznakom *prim* napr s_2' dok će standardne devijacije dobijene na osnovu uzastopnih mernih serija biti obeležene bez oznake *prim*, dakle samo s_2 .

3. ODREĐIVANJE MERNE NESIGURNOSTI

Za osnovu serije od n merenja moguće je izračunati srednju vrednost:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{n} \quad (3)$$

i standardnu devijaciju s :

$$s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Standardna greška (netačnost) srednje vrednosti izračunava se kao:

$$s(\bar{X}) = \frac{s(X)}{\sqrt{n}}, \quad (5)$$

a broj stepena slobode ν je:

$$\nu = n - 1. \quad (6)$$

Za slučaj M serija merenja gde svaka serija sadrži m_i merenja može se izračunati objedinjena varijansa

$$s_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^M v_i s_i^2}{\sum_{i=1}^M v_i} \quad (7)$$

Broj stepena slobode vrijanse s_p je:

$$v_p = \sum_{i=1}^M v_i \quad (8)$$

Na osnovu ovoga moguća je bolja procena standardne devijacije srednje vrednosti:

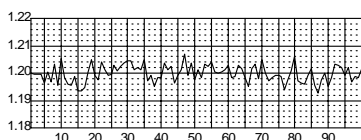
$$s(\bar{X}) = \frac{s_p X}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

4. REZULTATI MERENJA

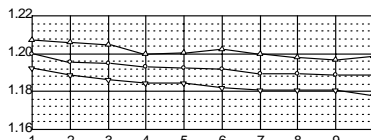
Na sl. 1 prikazan je napon na izlazu generatora. Napon je meren tokom 10 uzastopnih dana i to tako da je svakog dana načinjeno po 10 serija merenja. Svaka serija merenja sastoji se od 100 pojedinačnih rezultata, a svaki pojedinačni rezultat dobijen je na osnovu po 100 trenutnih vrednosti, pri čemu je trenutna vrednost formirana na osnovu 100 semplova.

Na sl. 1a prikazane su promene tokom jedne serije u jednom danu.

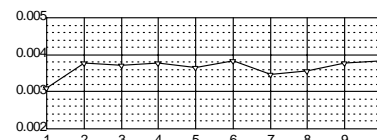
Na sl. 1b prikazane su promene u svih 10 serija tokom istog dana i to kao minimalna, srednja i maksimalna vrednost, a na sl. 1c prikazana je standardna devijacija za seriju merenja tokom jednog dana



a) Napon tokom jedne serije u jednom danu.



b) Napon tokom 10 serija u jednom danu min, srednja i max.vrednost

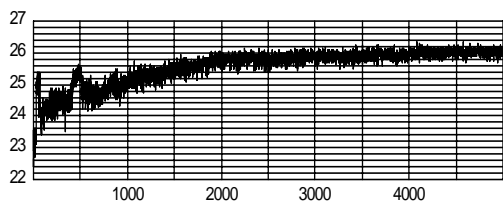


c) Standardna devijacija za seriju od 10 merenja napona

Sl.1. Napon na izlazu generatora

Praćene su i prikazane promene napona na izlazu pojačavača. Ovo merenje služi za određivanje stabilnog perioda rada električnog predajnog lanca (generator, pojačavač, zvučnik). Na osnovu 10 trenutnih vrednosti napona dobijen je jedan pojedinačni rezultat i ovakvi rezultati evidentirani su tokom perioda od oko 10 sati. Na

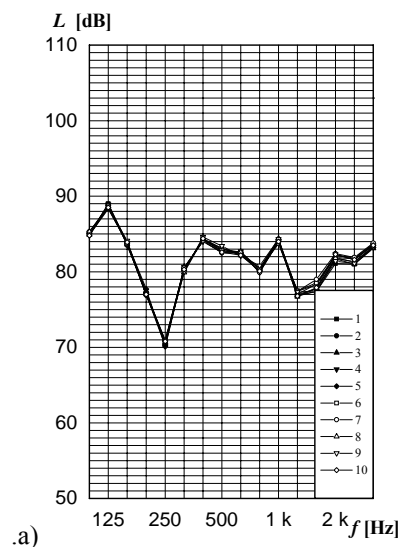
sl. 2 je prikazan jedan zapis tokom jednog dana, a celo merenje rađeno je tokom 10 dana i načinjeno je 10 ovakvih zapisa. Na osnovu ovih merenja napona optimizovana je procedura određivanja vremena zagrevanja i početka merenja.



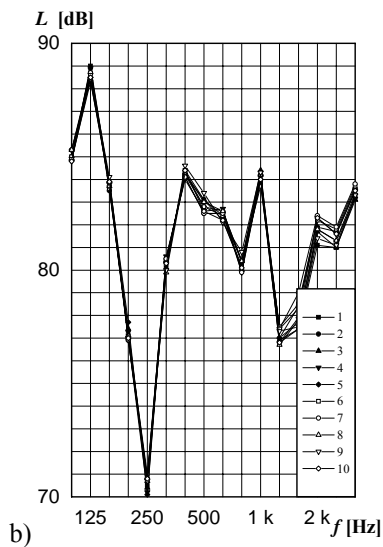
Sl.2. Napon na izlazu pojačavača

Na sl. 3 prikazano je merenje nivoa zvuka u slobodnom polju. Mikrofon je bio postavljen na rastojanju 1,2 m od zaštitne mreže zvučnika. Za merenje je korišćena dodekaedarska kutija i merenja su urađena na svih 12 zvučnika. Za svaki zvučnik napravljeno je po 10 serija merenja takođe tokom perioda od 10 dana.

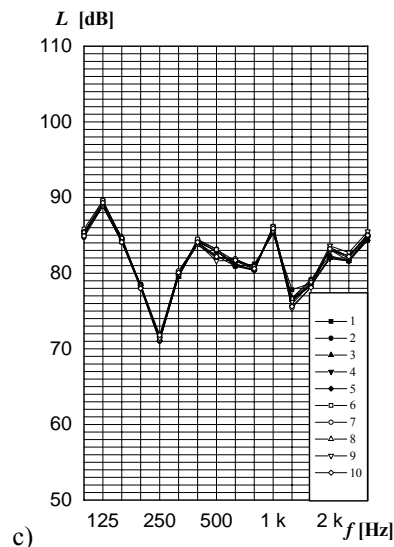
Na sl. 3a prikazano je 10 vrednosti nivoa zuka po tercama za zvučnik br. 6, a na sl. 3b isti dijagram samo uvećan, a na sl. 3c prikazan je 10 vrednosti nivoa zuka po tercama za zvučnik br.12.



a)



b)

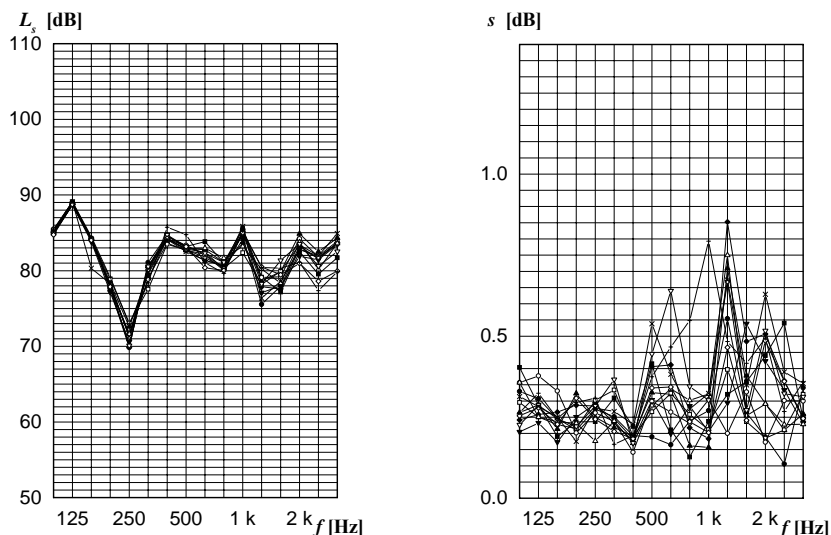


c)

Sl. 3. Nivo zvuka u slobodnom polju

Uočava se velika sličnost frekvencijskih karakteristika zvučnika. Primeri (sl. 3a i 3c) predstavljaju najuočljivije razlike. Na niskim frekvencijama ponovljivost merenja je velika dok na visokim frekvencijama ono opada što se jasno vidi na slikama 3 i 4. Pad nivoa na $f = 250$ Hz nije posebno ispitan i to će biti naredni zadatak.

Na sl. 4a prikazane su srednje vrednosti za jednodnevnu seriju od 10 merenja za svaki od 12 zvučnika, a na sl. 4b odgovarajuće standardne devijacije.

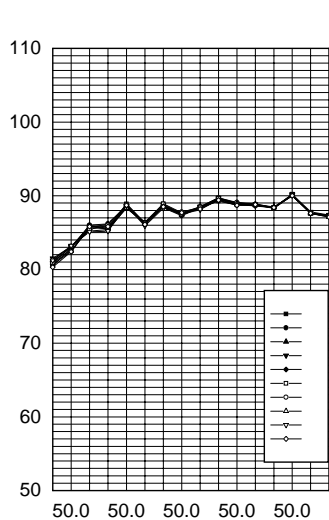


Sl. 4. Srednje vrednosti standardne devijacije nivoa u slobodnom polju za 12 zvučnika

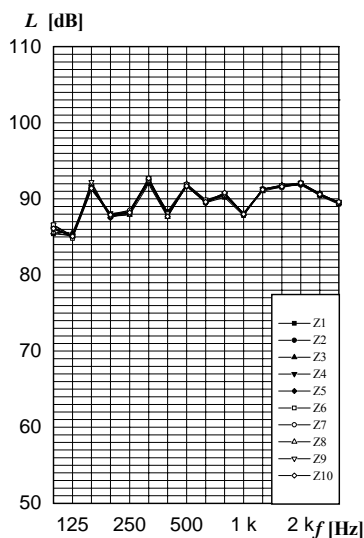
Merenja u zatvorenom prostoru urađena su u prvoj varijanti kao standardna merenja u zvučnom polju u skladu sa standardima za merenje zvučne izolacione moći JUS ISO 140. U prvom redu ovde se misli da je nivo zvuka meren u središnjem delu prostora odmakto od graničnih površina prostorije 1,2m. Izbor tačaka urađen je na osnovu tablice slučajnih brojeva. Položaji mikrofona mogu se ponoviti sa visokom tačnošću (do tačnosti od 1cm), a zvučnik tokom svih merenja nije uopšte pomeran. Merenja su urađena za 10 pozicija mikrofona, a na sl. 5 su prikazani rezultati ovih merenja za 3 tačke. Pored toga nivoi su određivani još za 2 varijante i to na bliskom rastojanju (1cm): A) pored

masivnog zida B) i pored lakog montažnog zida, a prema posebno propisanoj proceduri za eksperiment. Rezultati za slučajeve pod A) i B) prikazani su na sl. 6 i sl. 7 respektivno, a na sl. 8 prikazani su standardne devijacije sa svih 10 tačaka za sve tri varijante merenja.

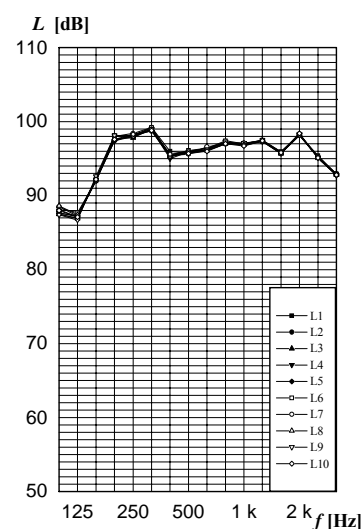
U sve tri varijante, u središnjem polju, pored masivnog zida i pred montažnog zida, merenja su ponavljana tokom 10 dana. U svim slučajevima, sl. 5, 6 i 7, uočava se visoka ponovljivost rezultata ali i značajne razlike nivoa od jedne do druge merne tačke.



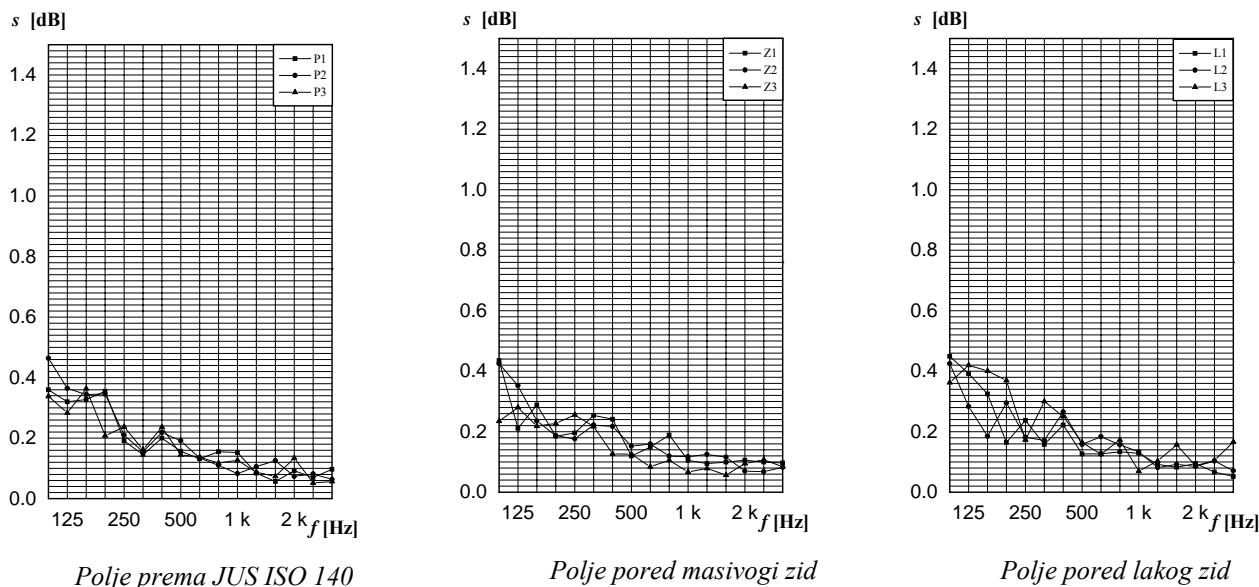
Sl. 5. Nivoi u 1 tački u polju prema JUS ISO 140



Sl. 6. Nivoi u 1 tački pored masivnog zida



Sl. 7. Nivoi u 1 tački pored lakog zida



Sl. 8. Standardne devijacije za 10 tačaka za 3 serije merenja

5. ZAKLJUČAK

Pod strogo kontrolisanim uslovima moguće je postići visoku ponovljivost pri određivanju nivoa zvuka u laboratorijskim i terenskim uslovima.

Jedan od bitnih elemenata za ostvarivanje visoke ponovljivosti je etalonirana akustička oprema kao i kontrola neakustičkih parametara. U narednom periodu treba ispitati uticaje variranja položaja zvučnog izvora.

Ovako obavljena merenja mogu da posluže kao osnova za uporedna merenja nivoa zvuka. Merenja su takođe interesantna za uspostavljanje korelacije za slučaj određivanja nivoa u centralnoj zoni prostorije (usklađeno sa standardima) i polja u zoni bliskoj zidovima.

U odnosu na ranije obavljena slična merenja dobijeno je na kvalitetu, čija osnova leži u primeni kvalitetnije opreme. Sva merenja su obavljena sa fonometrom Rion NL 32, sa kojim se postižu dobri rezultati i izuzetna operativnost.

LITERATURA

- [1] *National Environmental Strategy and Action Plan (NESAP) EA-2/07*, September 2004.
- [2] Direktiva 89/106/EEC, nemačka verzija *Anhang I, Wesentliche Anforderungen 5, Schallschutz*.
- [3] Ed Bervoets, *Uncertainty Evaluation and its applications, Energy and Industry division, Calibration and Installation Department*.
- [4] B.B. Budisavljević, Č. Drobnjaković: "Statistički parametri zvučnog nivoa pri merenju izolacione moći", *26.ETAN*, Subotica, 1982.
- [5] B.B. Budisavljević, V. Stanković: "Zvučno polje u prostoriji pri merenju izolacije", *30.ETAN*, Herceg Novi, 1986.

Abstract – The paper deals with uncertainty by noise measurement in the rooms, L_{eq} and standard deviation in four characteristic point of measurement disposition are given.

SUPPLEMENT TO THE ESTIMATION OF THE SPL IN ROOMS AND ITS UNCERTAINTY

Borislav B. Budisavljević, Aleksandar Milenković,
Čedomir Drobnjaković, Stevka Baralić, Branislav Zorić