

Ponovljivost određivanja nivoa zvučnog pritiska u malim prostorijama

Borislav Budisavljević, Danica Boljević, Aleksandar Milenković, Dejan Ćirić

Sadržaj — Za potrebe merenja zvučne izolacije određuje se ponovljivost merenja nivoa zvučnog pritiska. Isti rezultati direktno su upotrebljivi i za merenje buke u prostoriji. Svi eksperimenti urađeni su kao priprema za projekat „Analiza uticaja parametara građevinske konstrukcije za potrebe zaštite životne sredine i praktično rešenje lakog zida“, broj projekta 21013, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Ključne reči — nivo zvučnog pritiska, ponovljivost.

I. UVOD

U ovom ovom radu razmatraju se elementi greške pri merenju zvučne izolacione moći R , a koji nastaju pri merenju nivoa zvučnog pritiska. Polazeći od osnovne relacije za zvučnu izolacionu moć R , [1], njen totalni diferencijal dat je izrazom:

$$|\Delta R| = |\Delta L_1| + |\Delta L_2| + 4,34 \left(\frac{1}{S} |\Delta S| + \frac{1}{T} |\Delta T| + \frac{1}{V} |\Delta V| \right) \quad (1)$$

Na osnovu izraza (1) zaključuje se da greška pri merenju zvučne izolacione moći nastaje pri određivanju nivoa zvučnog pritiska L_1 i L_2 , vremena reverberacije T , dimenzija uzorka S odnosno zapremine prostorije V . U narednom tekstu pažnja će biti obrađena na određivanje nivoa zvučnog pritiska u prostoriji.

II. MERNI LANAC

Za sva merenja kao izvor zvuka korišćen je sledeći merni lanac: generator belog šuma, pojačavač snage i dodekaedarska zvučnička kutija sa predajne strane, a merenje nivoa rađeno je pomoću fonometra klase 1 Rion model NL-32. Signal je uvek analiziran u tercnim opsezima od 50 Hz – 5000 Hz. Merenjem nivoa zvuka određivana je ekvivalentna vrednost nivoa L_{eq} u kratkim vremenskim intervalima $t_M = 10$ s.

Tačnost merenja nivoa zvučnog pritiska definišu dva

Rezultati publikovani u ovom radu su dobijeni istraživanjem realizovanim u okviru projekta „Analiza uticaja parametara građevinske konstrukcije za potrebe zaštite životne sredine i praktično rešenje lakog zida“, Evidencioni broj projekta 21013, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Borislav B. Budisavljević, Institut IMS a.d, Bul. vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: bbb@sbb.rs)

Danica Boljević, Institut IMS a.d, Bul. vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: danica.boljevic@institutims.co.yu)

Aleksandar Milenković, Institut IMS a.d, Bul. vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: aleksandar.milenkovic@institutims.co.yu)

Dejan Ćirić, Elektronski fakultet, ul. Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: dciric@elfak.ni.ac.yu)

uticaja: 1) fizičke osobine izvora zvuka i karakteristike zvučnog polja i 2) opštim metrološkim parametrima mernog lanca.

Rad se posebno bavi određivanjem uticajnih fizičkih osobina izvora zvuka i karakteristikama polja.

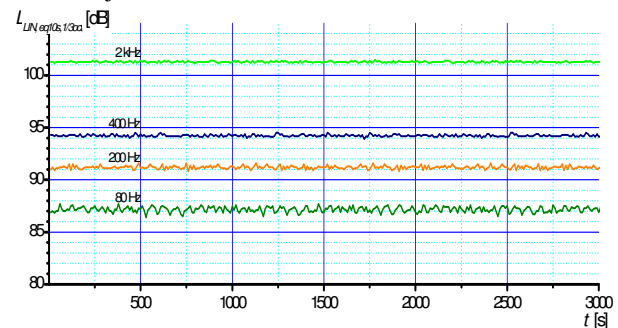
Specifičnost akustičkih merenja ogleda se u značajno promenljivoj merenoj veličini. Zvučni pritisak je vremenski i prostorno promenljiva veličina, pa promene ove veličine znatno utiču na elemente tačnosti: ponovljivost i uporedljivost.

Standardna greška i uticajni parametri mernog lanca poznati u opštoj metodologiji znatno su manji nego parametri koji nastaju zbog samih karakteristika polja.

Tokom eksperimenta izvršena su ispitivanja šest generatora belog šuma od kojih su tri bila analogni a tri digitalni. Posle trijažnog merenja odbačen je jedan digitalni generator belog šuma, a eksperiment je završen sa ostalih pet generatora.

Analogni generatori šuma ispitani su u skladu sa interno propisanim procedurom zagrevanja, kontrolom temperature okoline i jedne značajne komponente, a za potrebe projekta br. 21013 odabran je generator Neutrik model Minirator MR1 za koji se smatralo da ima najbolje karakteristike u celom frekvencijskom opsegu.

Signal iz generatora šuma analiziran je po tercama merenjem ekvivalentnog nivoa L_{eq} u trajanju od 10 s. Signal je praćen tokom perioda od 3000 s, a na Sl. 1 su prikazani, kao tipične vrednosti, vremenski tok za terčne frekvencije 80 Hz, 200 Hz, 400 Hz i 2 kHz.



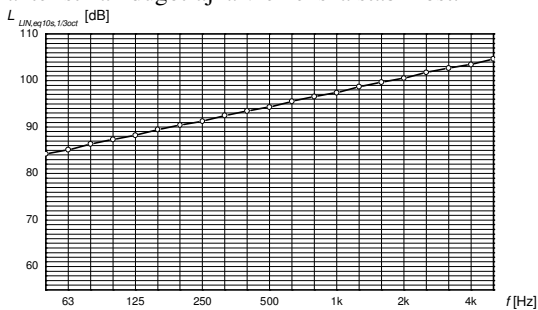
Sl. 1. Vremenski tok signala iz generatora šuma za terčne frekvencije 80 Hz, 200 Hz, 400 Hz i 2 kHz.

Na dijagramima na Sl. 2 prikazani su srednja vrednost nivoa, minimalna i maksimalna vrednost i standardna devijacija 10 serija merenja sa po 20 rezultata.

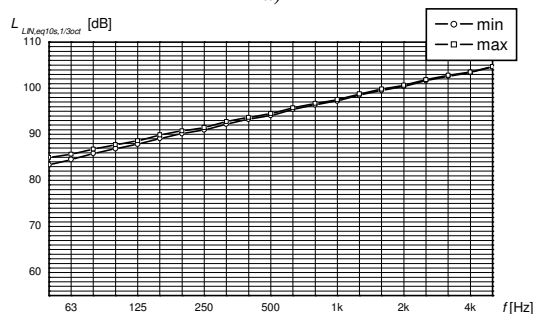
Statistička analiza pokazuje da ne postoji izrazit trend rasta ili opadanja nivoa belog šuma tokom perioda

merjenja, a standardna devijacija po tercnim intervalima prikazana je na Sl. 2c).

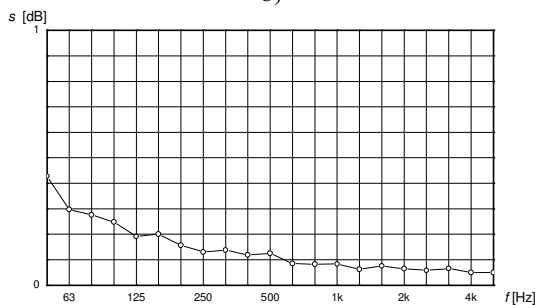
U prethodnom postupku utvrđene se karakteristike pojačavača snage kao što su frekventijska i dinamička karakteristika i dugotrajna vremenska stabilnost.



a)

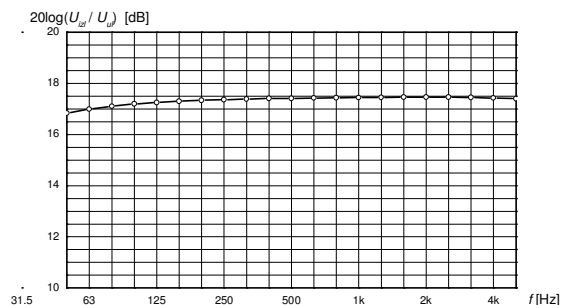


b)



c)

Sl. 2. Generator belog šuma: a) srednja vrednost nivoa, b) minimalna i maksimalna vrednost i c) standardna devijacija 10 serija merenja sa po 20 rezultata.



Sl. 3. Frekventijska zavisnost pojačavača snage.

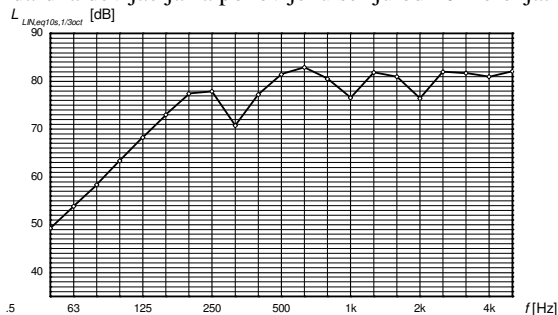
Frekventijska karakteristika pojačavača snage prikazana je na Sl. 3, a dugotrajna stabilnost pojačavača je bolja od 0,1 dB/3 h. Dinamička karakteristika u opsegu od 60 dB je izrazito linearna.

Merenjem je konstatovano da se frekventijska i

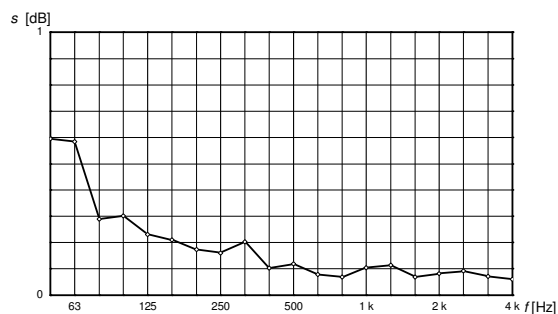
dinamička karakteristika pojačavača snage praktično ne menjaju tokom perioda od 8 h. Kako su ispitivanja ponovljivosti trajala manje od 2 h, treba smatrati da su promene parametara pojačavača i zvučnika bez uticaja na ponovljivost merenja.

Na izlazu pojačavača snage utvrđivani su na isti način isti navedeni parametri kao i pri eksperimentu sa generatorom belog šuma. Ovi parametri utvrđivani su u nezavisnim eksperimentima, pa rezultati nisu direktno uporedivi. Statistički posmatrano varijacije se ponavljaju na isti način u celom frekventijskom opsegu.

Interesantni su rezultati merenja nivoa zvučnog pritiska koje sistem zrači u slobodnom polju. Merenja su urađena pri idealnom zračenju zvučnog izvora u polusferu bez akustičkih refleksija. Mikrofon je bio postavljen u osi zvučnika a na visini 1,2 m od njega. Na dijagramu na Sl. 4 prikazana je frekventijska karakteristika zračenja u slobodnom polju dobijena belim šumom, a na Sl. 5 standardna devijacija za ponovljenu seriju od 20 merenja.

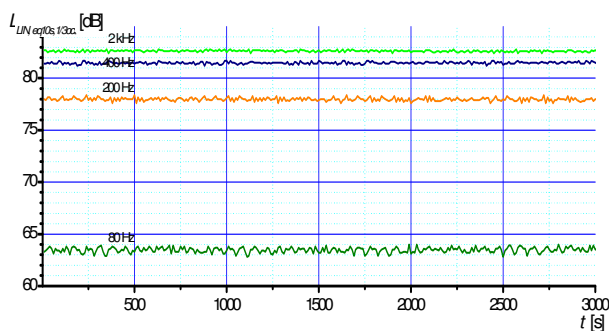


Sl. 4. Frekventijska karakteristika zračenja u slobodnom polju dobijena belim šumom.

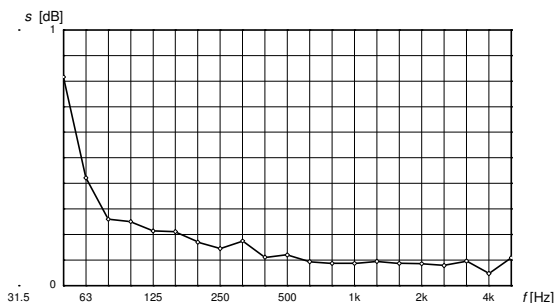


Sl. 5. Frekventijska karakteristika zračenja: standardna devijacija za ponovljenu seriju od 20 merenja.

Posebno je napravljen zapis vremenskog toka nivoa zvučnog pritiska u slobodnom polju. Beli šum je analiziran po tercama merenjem ekvivalentnog nivoa L_{eq} u trajanju od 10 s. Signal je praćen tokom perioda od 3000 s. Na Sl. 6 su prikazane varijacije vremenskog toka za karakteristične terčne frekvencije 80 Hz, 200 Hz, 400 Hz i 2 kHz – 300 vrednosti $L_{eq,10s}$, a na Sl. 7 odgovarajuća standardna devijacija po tercnim intervalima u celom frekventijskom opsegu od interesa.



Sl. 6. Vremenski tok zračenja u slobodnom polju za terčne frekvencije 80 Hz, 200 Hz, 400 Hz i 2 kHz.



Sl. 7. Standardna devijacija po ternim intervalima zračenja u slobodnom polju – 300 vrednosti $L_{eq,10s}$.

Karakteristika prijemnog mernog lanca ispitivana je po procedurama u skladu sa međunarodnim standardima IEC 651 i IEC 804 i za period od 6 h je praktično na nivou deklarisanе rezolucije fonometra i iznose 0,1 dB.

III. ODREĐIVANJE NIVOA ZVUČNOG PRITISKA U PREDAJNOJ PROSTORIJI

Pri određivanju nivoa zvučnog pritiska u zatvorenoj prostoriji postoje dva karakteristična slučaja tipa izvora: a) zvučni izvor (zvučnik) nalazi se u prostoriji i b) zračenje zvučne energije je kroz površinu pregrade.

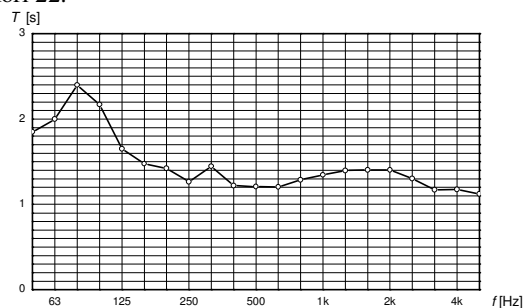
Navedeni slučajevi predstavljaju u primeru merenja R određivanje nivoa u predajnoj i prijemnoj prostoriji za uobičajenu dispoziciju merenja zvučne izolacije, a sa druge strane mogu se posmatrati kao dve moguće dispozicije pri određivanju nivoa zvuka u opštem slučaju (npr. merenju buke).

Razmatra se i analizira zvučno polje u prostorijama sa izvorom za merenje zvučne izolacije “uobičajene veličine”. Ovdje se u prvom redu podrazumevaju prostorije zapremine od $30 \text{ m}^3 - 150 \text{ m}^3$. Po pravilu ove prostorije su približno paralelopipednog oblika, a vreme reverberacije je u opsegu od $T = 0,5 \text{ s} - 3 \text{ s}$. Tokom samog eksperimenta vreme reverberacije u komorama 11, 12 i 22 bilo je stalno i bez promena i nalazi se u granicama između $T = 1 \text{ s} - 2 \text{ s}$.

Za merenje su korišćene standardne prostorije (komore) Laboratorije za akustiku i vibracije u Institutu IMS a.d. u Beogradu, i to sa dva karakteristična oblika prostorije: komora 11 zapremine $V = 60,86 \text{ m}^3$, sa neparalelnim naspramnim graničnim površinama, komora 12 zapremine $V = 70,33 \text{ m}^3$, sa paralelnim graničnim površinama i komora 22 zapremine $V = 70,58 \text{ m}^3$, sa paralelnim

graničnim površinama.

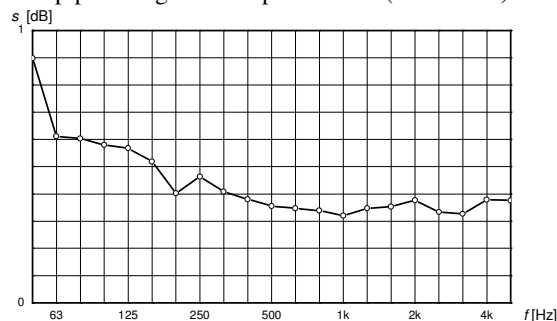
Frekvencijska zavisnost vremena reverberacije za komoru 11 merenog po tercama je prikazana na Sl. 8, a slične vrednosti dobijene su u komori 12, odnosno u komori 22.



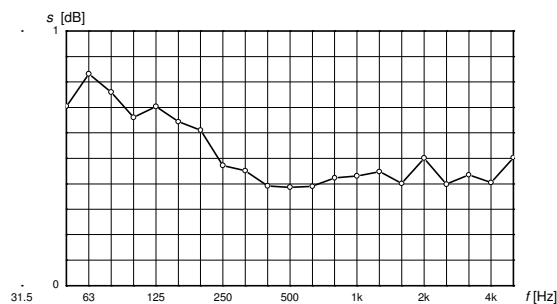
Sl. 8. Frekvencijska zavisnost vremena reverberacije u komori 11.

Nivo zvučnog pritiska u prostoriji određivan je sa ciljem da se utvrdi: 1) ponovljivost merenja nivoa zvučnog pritiska u svakoj od 20 mernih tačaka i 2) prostorna promenljivost zvučnog pritiska u 20 tačaka.

Na osnovu talasne teorije ujednačeno polje očekuje se u slučaju neparalelopipednih prostorija. Na Sl. 9 je prikazana standardna devijacija nivoa zvučnog pritiska dobijenog u 20 tačaka u predajnoj prostoriji sa neparalelopipednim graničnim površinama (komora 11), a na Sl. 10 prikazana je standardna devijacija nivoa zvučnog pritiska dobijenog u 20 tačaka u predajnoj prostoriji sa paralelopipednim graničnim površinama (komora 12).



Sl. 9. Standardna devijacija nivoa zvučnog pritiska po ternim intervalima u 20 tačaka u komori 11.



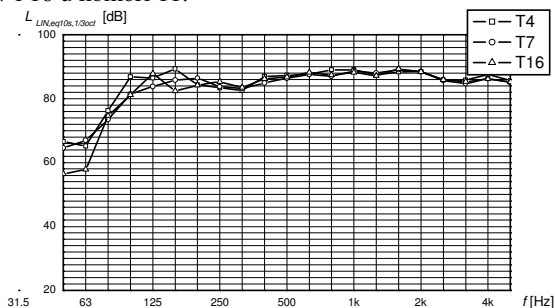
Sl. 10. Standardna devijacija nivoa zvučnog pritiska po ternim intervalima u 20 tačaka u komori 12.

Merenje nivoa zvučnog pritiska obavljeno je u centralnom delu prostorije formiranom tako da je udaljen 0,7 m od svih graničnih površina prostorije odnosno 1 m

od zvučnika. Merne tačke su međusobno udaljene više od 0,7 m.

Položaj mernih tačaka odabran je generisanjem slučajnih brojeva kao koordinata tačaka. Formiran je skup od 20 tačaka u svakoj prostoriji. Ponovljivost postavljanja mikrofona u istu tačku procenjuje se da je bolja od 0,5 cm.

Na dijagramima na Sl. 11 date su kao ilustracija srednje vrednosti za 6 uzastopnih zapisa u tri karakteristične tačke: 4, 7 i 16 u komori 11.



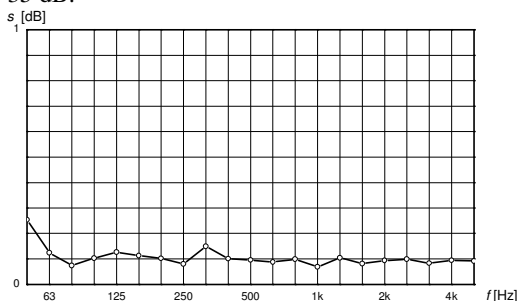
Sl. 11. Srednje vrednosti nivoa zvučnog pritiska za 6 uzastopnih zapisa u tri karakteristične tačke: 4, 7 i 16 u komori 11.

IV. ODREĐIVANJE NIVOVA ZVUČNOG PRITISKA U PRIJEMNOJ PROSTORIJI

Karakteristike prijemne prostorije su u akustičkom pogledu slične karakteristikama napred opisane predajne prostorije. Komora 22 u kojoj je merenje obavljeno je paralelopipednog oblika, a zračenje zvučne energije odvija se kroz pregradu dimenzija $S_p = 2,65 \text{ m} \times 2,85 \text{ m} = 7,6 \text{ m}^2$ i zvučne izolacione moći $R_W = 35 \text{ dB}$.

Bitna razlika u odnosu na slučajeve u prethodnom odeljku sastoji se u činjenici da energija u prostoriji nastaje zračenjem kroz veliku površinu ($S_p = 7,6 \text{ m}^2$) u odnosu na prethodni slučaj kada je energija zračila dodekaedarska zvučnička kutija.

Na Sl. 12 prikazana je standardna devijacija nivoa zvučnog pritiska merenog u 20 tačaka u prijemnoj prostoriji kada energija pretežno dolazi kroz zid površine $S_p = 7,6 \text{ m}^2$ i ocenjene zvučne izolacione moći $R_W = 35 \text{ dB}$.



Sl. 12. Standardna devijacija nivoa zvučnog pritiska po ternim intervalima u 20 tačaka u komori 22.

V. ZAKLJUČAK

Tokom prvog dela eksperimenta u okviru projekta broj 21013 utvrđivana je ponovljivost merenja nivoa zvučnog pritiska.

Kao osnovni uzrok koji utiče na ponovljivost merenja treba navesti generator šuma i njegova po definiciji deklarirana svojstva. (Razlike koje nastaju prolaskom signala kroz pojačavač i zračenje u slobodnom zvučnom polju su manjeg značaja.)

Drugi bitan razlog smanjene ponovljivosti nastaje zbog talasnih pojava u prostoriji pri čemu se pojava delimično razlikuje u slučajevima prijemne i predajne prostorije.

U predajnoj komori ponovljivost nivoa zvučnog pritiska određivan je za slučaj komore sa neparalelnim i paralelnim graničnim površinama, a razlike su ocenjene na bazi standardne devijacije srednjeg nivoa dobijenog u 20 tačaka prikazanih na Sl. 9 i Sl. 10. Na osnovu merenja i poznate talasne teorije u zatvorenom polju bolji rezultati dobijeni su u prostoriji sa neparalelnim graničnim površinama.

Zvučno polje u prijemnoj prostoriji je prostorno bolje ujednačeno nego u predajnoj, što je ocenjeno na bazi standardne devijacije srednjeg nivoa dobijenog u 20 tačaka prikazanih na Sl. 10 i Sl. 12.

ZAHVALNICA

Rezultati publikovani u ovom radu su dobijeni istraživanjem realizovanim u okviru projekta „Analiza uticaja parametara građevinske konstrukcije za potrebe zaštite životne sredine i praktično rešenje lakog zida“, Evidencioni broj projekta 21013, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] SRPS ISO 140-3:1997: Akustika – Merenje zvučne izolacije u zgradama i građevinskih elemenata – Deo 3: Laboratorijska merenja izolacije od vazdušnog zvuka građevinskih elemenata.
- [2] SRPS ISO 140-1: 2003: Akustika – Merenje zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 1: Zahtevi za laboratorije sa zanemarljivim bočnim provodnjem.
- [3] SRPS ISO 140-2: 1997: Akustika – Merenje zvučne izolacije u zgradama i građevinskih elemenata – Deo 2: Određivanje, verifikacija i primena podataka o preciznosti.
- [4] SRPS ISO 5725-1:2007: Tačnost (istinitost i preciznost) metoda i rezultata merenja merenja – Deo 1: Opšti principi i definicije.
- [5] SRPS ISO 5725-2:2007: Tačnost (istinitost i preciznost) metoda i rezultata merenja merenja – Deo 2: Osnovna metoda za određivanje ponovljivosti i reproducibilnosti standardne metode merenja.
- [6] B. B. Budisavljević; Č. Drobñaković: "Statistički parametri zvučnog nivoa pri merenju izolacione moći", 26. ETAN, Subotica, 1982.
- [7] B. B. Budisavljević, V. Stanković: "Zvučno polje u prostoriji pri merenju izolacije", 30. ETAN, Herceg Novi, 1986.

ABSTRACT

Repeatability of the sound insulation measurement is determined for the new project. The same result can be directly used for all noise measurements in rooms. Signal control is performed at the output of noise generator and power amplifier, as well as in the sound radiation in a free field and in a closed space in three versions.

REPEATABILITY OF SOUND LEVEL DETERMINATION IN SMALL ROOMS

mr Borislav Budisavljević, Danica Boljević,
mr Aleksandar Milenković, dr Dejan Ćirić