

## ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PULSED SOUND SOURCES OF VARIOUS TYPES

V. Stauskis & V. Kunigėlis

To cite this article: V. Stauskis & V. Kunigėlis (1998) ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PULSED SOUND SOURCES OF VARIOUS TYPES, *Statyba*, 4:4, 311-315, DOI: [10.1080/13921525.1998.10531423](https://doi.org/10.1080/13921525.1998.10531423)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1998.10531423>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 85

---

## ĮVAIRIŲ TIPŲ IMPULSINIŲ GARSO ŠALTINIŲ AKUSTINĖS CHARAKTERISTIKOS

V. Stauskis, V. Kunigėlis

### 1. Įvadas

Apskaičiuojant įvairios paskirties salių akustiką projektavimo stadijoje neįvertinami tokie svarbūs faktoriai, kaip salės forma, garsą absorbuojančių medžiagų išdėstymo vietos, antros ir didesnės eilės atspindžių struktūros, klausytojo padėtis šaltinio atžvilgiu, garso bangų difrakcijos ir interferencijos reiškiniai ir kt. Todėl, norint įvertinti jau pastatytos salės akustines savybes, būtini objektyvių akustinių rodiklių matavimai. Jų reikšmė yra dar didesnė, kai salė yra rekonstruojama.

Vienam iš pagrindinių objektyvių akustinių rodiklių – reverberacijos laikui matuoti garso šaltiniu ilgą laiką buvo baltasis triukšmas, perdavimo arba priėmimo trakte naudojant oktavos arba 1/3 oktavos filtrą. Tačiau tiriant pagal tokią sistemą negalime analizuoti garso atspindžių struktūros. Ši struktūra lemia salės akustines savybes ir formuoja subjektyvius salės akustikos vertinimo kriterijus.

Geriausiai salės akustines savybes nusako trumpas impulsas, kuris naudojamas garso laukui sužadinti. Jį naudojant galime išmatuoti ne tik salės reverberacijos laiką, bet ir ištirti garso atspindžių struktūrą ir apskaičiuoti įvairius subjektyvius rodiklius. Tačiau akustiniam impulsui yra keliami ir griežti reikalavimai, kurie matuojant turi būti išlaikyti.

Šio darbo tikslas – tyrimais nustatyti įvairių impulsinių garso šaltinių akustines charakteristikas ir įvertinti, koks impulsas akustiniu požiūriu yra geriausias.

### 2. Reikalavimai impulsiniam garso šaltiniui

Garso šaltinio problema egzistuoja nuo tada, kai buvo atliekami salių akustiniai tyrimai. Parinkti šaltinių yra svarbu todėl, kad nuo jo priklauso akustinių matavimų rezultatai. Impulsinių garso šaltinių pasirinkimas nėra didelis. Jau daug metų tam naudojamas medžioklinis šautuvas arba startinis pistoletas. Jų sukelti sprogimo tipo impulsai yra plačiai naudojami salių akustikos tyrimams. Naudojant juos pasau-

lyje buvo ištirta daug žinomų įvairios paskirties salių.

M. Barronas [1] kaip garso šaltinį panaudojo pistoletą tirdamas 1230 vietų ir 14 000 m<sup>3</sup> koncertinės salės ankstyvąją reverberaciją, ankstyvosios ir vėlyvosios energijų santykius ir kitus akustinius parametrus. L. Cremeris [2] naudojo 9-to kalibro pistoletą tirdamas 2200 vietų Madrido koncertinės salės akustines savybes. J. Bradley [3-6] kaip garso šaltinį naudojo galingą 38 kalibro pistoletą, kuris išspinduliudavo pakankamą energijos kiekį tiek esant žemiesiems, tiek aukštiesiems dažniams. Taip jis ištyrė didelių salių, kurių tūris siekė nuo 4600 iki 9400 m<sup>3</sup>, o klausytojų buvo nuo 967 iki 2262, akustiką. B. Rasmussenas ir kt., [7] tirdami dviejų mažų studijų reverberacijos laikus ir kitus parametrus, taip pat naudojo pistoletą ir “Briuel & Kjaer” firmos šaltinį No 4224. L. Makrinenko ir kiti [8] startinį pistoletą naudojo tirdami akustines savybes tokių žinomų koncertinių salių, kaip Maskvos Sąjungos namų Kolonų salė, Konservatorijos Didžioji salė ir kt. Tačiau šiuose darbuose pasigendama informacijos apie įvairių sprogimo tipo impulsų akustines charakteristikas ir apie tai, kokį impulsą naudojant gaunami geriausi akustiniai rezultatai. Svarbu žinoti, ar šie rezultatai priklauso nuo garso šaltinio.

Impulsas suteikia labai daug informacijos apie patalpos akustines savybes. Jis apima visus muzikinius instrumentus, visus galimus garso signalus, kuriuos sukuria muzikiniai instrumentai, solistai ir aktoriai. Tai yra todėl, kad bet kurį garsinį signalą galime nagrinėti kaip impulsų pasikartojimą. Pasikartojimo dažnį lemia salės geometrija, o kiekvienas muzikinio kūrinio intervalas gali būti išskaidytas į impulsus.

Kiekvienas impulsas turi savąjį spektrą. Galima nustatyti, ar kinta impulso spektras atskirose patalpos zonose arba patalpoje apskritai. Kraakas [9], Reichartas [10] nustatė, kad matuojant reikia naudoti impulsus, kurių spektro plotis yra ne mažesnis kaip dvi–trys oktavos, tam, kad matavimų rezultatai nepriklausytų nuo interferencinių reiškinų, nedaug keičiantis šaltinio ir mikrofono padėtimis.

Sužadinant garso lauką patalpoje dažniausiai naudojami plačiajuosčiai sprogimo pobūdžio impulsai. Naudojant plačiajuosčius ir trumpus impulsus galima gauti gerą atspindžių pasiskirstymą laike ir pasiekti, kad interferencinių reiškinių įtaka būtų kuo mažesnė. Tačiau esant plačiajuosčiams impulsams sunku atlikti atspindžių struktūros dažninę analizę, nes atspindžių struktūra yra iškraipoma pereinamųjų fizinio filtro procesų. Kuo didesnė impulso trukmė, tuo jis turi siauresnį juostos plotį.

Kuo daugiau energijos norime sukcentruoti tam tikru laiko momentu, tuo labiau plačiajuostis dažnių srityje turi būti signalas. Ir atvirkščiai: kuo daugiau energijos turi būti sukcentruota tam tikroje dažnių juostoje, tuo labiau išstetas laike turi būti signalas. Jeigu reikia sukurti plačiajuostį sužadavimo signalą, pvz., sužadinti visus diapazono dažnius, tai sužadantis signalas turi būti trumpas impulsas. Šiuo atveju energija, kurią galima suteikti sistemai, yra ribota todėl, kad maksimali garso slėgio amplitudė negali viršyti kai kurios ribos.

Jeigu impulsinio signalo  $u(t)$  spektras  $F(\omega)$  turi būti pakankamai siaurajuostis [11], tai efektyvus normuotas spektro plotis gali būti aprašomas tokia formule:

$$\Delta e_f = \frac{1}{2\pi |F(\omega)|_{\max}^2} \int_0^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega, \quad (1)$$

čia  $\omega$  – kampinis dažnis, ir šis spektro plotis neturi viršyti 1/3 oktavos.

Tačiau sprogimo pobūdžio impulsas šios sąlygos jau yra neatitinka. Be to, impulsinių matavimų rezultatai neturi būti iškraipomi interferencinių efektų, t.y. tiesioginis garsas ir atspindžiai turi sumuotis energetiškai. Toks energetinis tiesioginio ir atsispindėjusio garso sumavimas yra galimas tada, kai autokoreliacinė funkcija  $B(t) = 0$ :

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t-\tau)dt = 0. \quad (2)$$

Jeigu bus naudojamosi koherentiškumo intervalo sąvoka, kurią aprašo formulė

$$\tau_k = \int_0^{\infty} \frac{|B(\tau)|}{|B(0)|} d\tau, \quad (3)$$

tai pasirodys, kad kuo yra mažesnė impulso trukmė, tuo mažiau interferuos impulsinis signalas.

Impulsinio signalo trukmė turi būti tokios trukmės tam, kad atskiri atspindžiai impulso atsake nesusilietų tarp savęs.

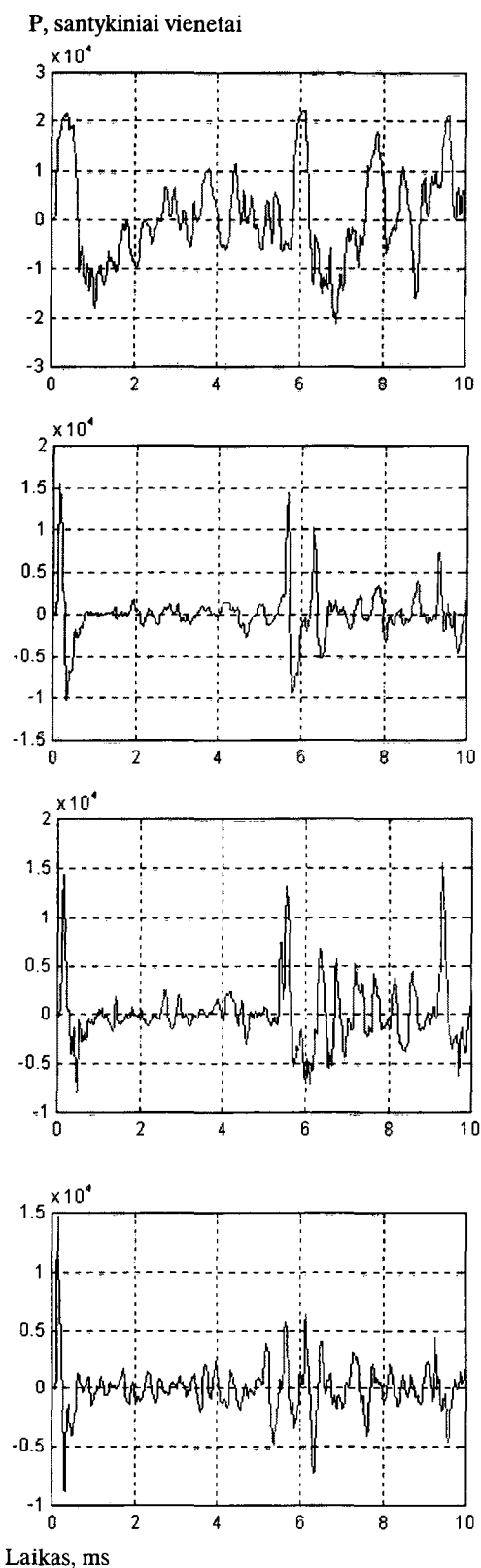
### 3. Įvairių impulsinių garso šaltinių sukuriama atspindžių struktūra

Šaltinio išspinduliuojamo impulso trukmė turi būti tokia, kad atskiri atspindžiai impulsinėje atspindžių struktūroje nebūtų susilieję. Tyrimams buvo pasirinkti keturių tipų sprogimo tipo impulsai – 9-to kalibro garsinis pistoletas, startinis ir žaislinis pistoletai ir 16-to kalibro medžioklinis šautuvas. 1 paveiksle pavaizduotas atspindžių pasiskirstymas per pirmąsias 20 ms sužadinant garso lauką minėtais šaltiniais. Tyrimai atlikti 12 m<sup>2</sup> kambaryje. Mikrofono atstumas nuo impulsinio garso šaltinio visais atvejais buvo 1 m.

Nagrinėdami salės atsaką į skirtingus sužadavimo impulsus matome daug atspindžių, kurie pasiekia klausytoją įvairiais laiko intervalais. Tačiau atspindžių struktūra priklauso nuo to, koku impulsu yra sužadamas garso laukas. Didžiausius atspindžius generuoja garsinis pistoletas. Šių atspindžių amplitudės yra beveik vienodos su tiesioginio garso amplitude per visas 10 ms. Vadinasi, garsinis pistoletas išspinduliuoja daugiau garso energijos negu kiti impulsai. Sužadinant lauką startiniu pistoletu ir medžiokliniu šautuvu, atspindžių struktūra pagal amplitudę labai skiriasi nuo tos, kai sužadinama garsiniu pistoletu. Gerai išskiriamą atspindžių struktūrą suformuoja žaislinis pistoletas, tačiau jo išspinduliuojama energija yra maža.

Garso šaltinis turi būti toks, kad atspindžių struktūroje būtų matyti atskiri atspindžiai. Nagrinėjant garso šaltinių atspindžių struktūrą, matyti, kad kai kurie atspindžiai sutampa laike. Taip pat matyti, kad, kai impulsą generuoja startinis pistoletas ir medžioklinis šautuvas, tai laiko intervale nuo 5 iki 10 ms yra daug mažo intensyvumo atspindžių. Tuo tarpu, kai atspindžius generuoja garsinis pistoletas, tai vietoj kelių atspindžių yra tik vienas, bet jo amplitudė yra garokai didesnė. Visa tai atsiliepia rezultatų dažninei analizei. Filtruojant signalą ir ypač nagrinėjant žemųjų dažnių sritį, būtina, kad šiame diapazone energija būtų pakankamai didelė tam, kad galima būtų naudingą signalą išskirti iš triukšmo. Šiuo požiūriu geriausi rezultatai gaunami naudojant garsinį pistoletą. Tuo tarpu nagrinėjant atspindžių laikines charakteristikas geriausiai tinka garso šaltinis, kurio impulso trukmė yra mažiausia.

Medžioklinis šautuvas generuoja priimtina atspindžių struktūrą, tačiau jo šūviai yra labai nestabilūs, o tai yra didelis trūkumas atliekant eksperimentą. Tuo tarpu garsinio pistoleto šūviai pagal amplitudę vienas nuo kito skiriasi tik apie 0,1%, t.y. jie yra labai stabi-



1 pav. Garso atspindžių struktūra, gaunama sužadinant garso lauką skirtingais impulsais. Iš viršaus: 9-to kalibro garsinis pistoletas; startinis pistoletas; 16-to kalibro medžioklinis šautuvas; žaislinis pistoletas

Fig 1. Sound reflection structure obtained exciting sound field with different pulses. Top - 9-calibre sound pistole; start pistole; 16-calibre hunting gun; toy pistole

lūs. Taigi geriausią atspindžių struktūrą iš visų keturių impulsinių šaltinių sukuria garsinis pistoletas.

Didelę įtaką matavimų rezultatams turi šaltinio ir mikrofono charakteristikos. Atspindžių amplitudės, be jų laikinio pasiskirstymo, formos ir salės paviršių apdailos, priklauso ir nuo to, kokių santykiniu lygiu ir kokia kryptimi buvo išspinduliuojamas impulsas ir koks yra mikrofono jautrumas kryptimi, kuria ateina šis impulsas.

#### 4. Natūrinių impulsinių garso šaltinių trukmė ir jų forma

Kaip buvo minėta, impulsinio garso šaltinio trukmė turi būti nedidelė tam, kad būtų galima gerai atskirti atskirus atspindžius, pasiekiančius klausytoją. Šūvio impulso formą nusako dujų greičio pasiskirstymas išlekiančiose dujose, kurią aprašo Bolcmano pasiskirstymas:

$$F(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi K_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2K_B T}}, \quad (4)$$

čia  $K_B$  – Bolcmano pastovioji;  $m$  – dujų molekulių masė;  $T$  – temperatūra;  $V$  – dujų molekulių greitis.

Mes registruojame ne greitį, bet susikuriantį perteklinį slėgį, kuris griežtai susijęs su greičiu. Atlikę analizę gauname, kad

$$p(t) = A^{-t} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^2} \left( 1 - \left(\frac{t}{t_0}\right)^2 \right), \quad (5)$$

čia  $A$  yra pastovioji;  $t$  – laikas;  $t_0$  – maksimali impulso trukmė.

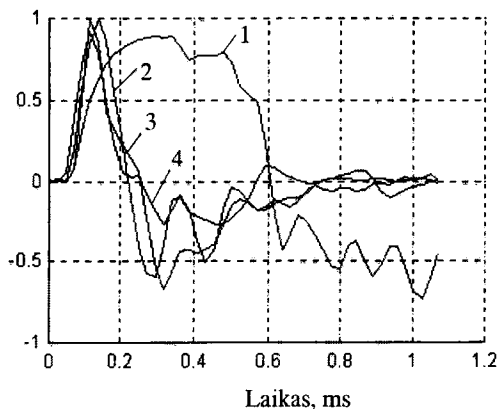
2 paveiksle pateikiami 9 kalibro garsinio pistoleto, startinio pistoleto, 16-to kalibro medžioklinio šautuvo ir žaislinio pistoleto sužadintame impulso formos ir jų trukmės.

Didžiausią impulso trukmė – apie 0,55 ms yra garsinio pistoleto. Jis ir išspinduliuoja daugiausiai garso energijos. Startinio pistoleto impulso trukmė yra 0,2 ms, medžioklinio šautuvo – 0,18 ms ir žaislinio pistoleto – 0,15 ms ir jis yra trumpiausias iš visų keturių impulsų. Pirmųjų trijų impulsų formos yra labai panašios ir labai skiriasi nuo garsinio pistoleto impulso formos.

#### 5. Natūrinio impulsinio garso šaltinio spektras

Kadangi patalpos atsaką į impulsinį garso signalą mes registruojame kompiuteriu, t.y. skaitmenine

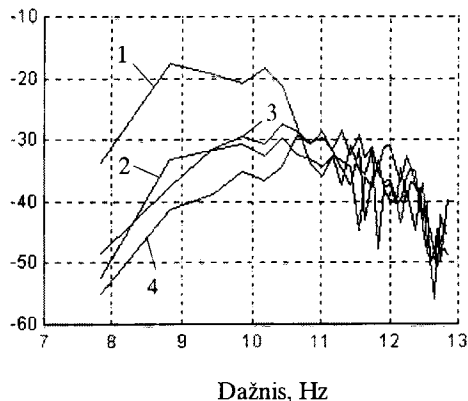
Normuotas slėgis, santykiniai vienetai



2 pav. Įvairių tipų impulsų trukmės ir jų formos. 1 – garsinis pistoletas; 2 – medžioklinis šautuvas; 3 – startinis pistoletas; 4 – žaislinis pistoletas

Fig 2. Duration and forms of different types pulses. 1 - sound pistol; 2 - hunting gun; 3 - start pistol; 4 - toy pistol

Santykinė energija, dB



3 pav. Įvairaus tipo impulsų spektras. 1 – garsinis pistoletas; 2 – medžioklinis šautuvas; 3 – startinis pistoletas; 4 – žaislinis pistoletas

Fig 3. Spectre of pulses of different type. 1 - sound pistol; 2 - hunting gun; 3 - start pistol; 4 - toy pistol

diskretine forma, tai impulsinio garso šaltinio spektras gali būti lengvai nustatomas pagal Furje transformaciją diskretine forma (3 pav.).

Grafikas rodo, kad garso šaltinio spektras labai priklauso nuo to, kas sužadina garso lauką. Garsinis pistoletas sukuria spektrą, kurio maksimumo plotis siekia nuo 400 iki 1400 Hz, t.y. užima beveik dvi oktavas. Startinis pistoletas generuoja spektrą nuo 800 iki 2500 Hz. Jis yra gerokai platesnis negu garsinio pistoleto, tačiau jo išspinduliuojama energija yra 10 dB mažesnė negu garsinio pistoleto. Medžioklinis šautuvas sukuria spektrą nuo 500 iki 1600 Hz ir jo energija yra 13 dB mažesnė negu garsinio pistoleto.

Siauriausią spektrą (1600–2000 Hz) sukuria žaislinis pistoletas ir jo energija yra 10 dB mažesnė negu garsinio pistoleto. Šis garso šaltinis sužadina tankiausią atspindžių struktūrą, turinčią mažiausiai energijos. Tai nėra gerai, nes per mažai išspinduliuojama žemųjų ir vidutinių dažnių garso energijos.

Taigi pagal išspinduliuojamą spektro plotį ir energiją geriausias iš keturių garso šaltinių yra garsinis pistoletas, todėl jį galima rekomenduoti tyrimams. Tačiau dar reikia papildomų tyrimų apie tai, kaip priklausomai nuo skirtingų garso šaltinių kinta patalpos objektyvūs ir subjektyvūs akustiniai rodikliai.

## 6. Išvados

1. Salių akustikos tyrimams galima rekomenduoti 9-to kalibro garsinį pistoletą, kuris išspinduliuoja 0,55 ms trukmės impulsą ir kurio spektras beveik lygus 400–1400 Hz.

2. Garsinio pistoleto išspinduliuojama energija yra stabili ir ji skiriasi tik apie 0,1 %.

3. Startinis pistoletas ir 16-to kalibro medžioklinis šautuvas išspinduliuoja 0,18–0,2 ms trukmės impulsą, tačiau jų išspinduliuojama energija yra 10–13 dB mažesnė negu garsinio pistoleto.

4. Medžioklinio šautuvo išspinduliuojama energija yra labai nestabili, o tai yra didelis trūkumas atliekant eksperimentą.

## Literatūra

1. M. Barron. The gulbekian great hall, lisbon, II. An acoustic study of a concert hall with variable stage // Journal of Sound and Vibration, 1978, 59 (4), p. 481-502.
2. L. Cremer. Early reflections in some modern concert halls // Journal Acoust. Soc. Amer., 85 (3), March 1989, p. 1213-1225.
3. J. S. Bradley. Acoustical characteristics of guns as impulse sources // Can. Acoust., 13 (2), 1985, p. 16-24.
4. J. S. Bradley. Auditorium acoustics measures from pistol shots // Journal Acoust. Soc. Amer., 80 (1), July 1986, p. 199-205.
5. J. S. Bradley. A Comparison of three theaters // Journal Acoust. Soc. Amer., 79 (6), June 1986, p. 1827-1832.
6. J. S. Bradley. A Comparison of three classical concert halls. Journal Acoust. Soc. Amer., 89 (3), March 1991, p. 1176-1192.
7. B. Rasmussen, J.H. Rindel and H. Heriksen. Design and Measurement of Short Reverberation Times at Low Frequencies in Talks Studios // Journ. Audio Engineering Society, Vol 39, No 1/2, 1991, January/February, p. 47-56.
8. Л. Макриненко, Х. Пширжецкий, М. Селиванов и др. Акустика колонного зала Дома Союзов // Труды НИИСФ, Вып. III, 1982, с. 94–105.

9. W. Kraak. Elektroakustische Messungen an Raummodellen. Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 65, 1956, H. 3, S. 91.
10. W. Reichardt, Die Messung raumakustischer Eigenschaften im Modell // Die Schalltechnik 22, 1957, S. 1 I. Polytechn. Tagung der TU Dresden, 1956. Berichtsband S. 231 – 239.
11. М. Ю. Ланье. Оптимальный выбор узкополосного импульсного сигнала для исследования акустических характеристик помещений и их моделей // Труды НИИСФ. Строительная акустика, 1976, т. 15, с. 113–119.

Įteikta 1997 12 20

## ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PULSED SOUND SOURCES OF VARIOUS TYPES

V. Stauskis, V. Kunigėlis

### Summary

The paper examines the acoustic characteristics of explosion-type pulsed sound sources of four types. These include a Calibre 8 sound gun, a start gun, a Calibre 16 hunting gun, and a toy gun. The latter was included both because of its short pulse duration and for comparison purposes. Correct selection of a source is very important because it largely determines the results of acoustic measurements.

Certain requirements are set for a sound source. In order to concentrate as much energy as possible at the given moment, the signal bandwidth-duration product must be as large as possible. The range frequencies to be excited depend on the pulse duration. The latter also determines whether interference phenomena will occur in the room and whether individual reflections will merge.

The experiments were conducted in a room of 12 m<sup>2</sup>. The distance between the microphone and the pulsed sound source was 1 m.

The structure of reflections depends on the pulse by means of which the sound field is excited. The smallest number of reflections is generated by a sound source. During a 20 ms experiment, the amplitudes of these reflections almost coincided with the direct sound amplitude. A sound gun emits more sound energy than other pulses. When the sound field is excited by means of a start gun and a hunting gun, the reflection structure, by amplitude, is very different from that produced by a sound gun. A dense reflection structure is formed by a toy gun but it emits less energy.

The structure of reflections generated by a hunting gun is acceptable but its shots are very unstable, which is a major drawback in an experiment. The shots from a sound gun differ only by about 0.1% among themselves by amplitude, ie they are sufficiently stable. Among the four sound sources, the best reflection structure is produced by a sound gun.

A sound gun is characterised both by the longest pulse duration (about 0.55 ms) and the highest levels of energy emitted. The pulse duration of the rest three guns is almost equal and is about 0.15 ms, ie is 3.6 times shorter than that of a sound gun. The forms of signals emitted by these sound sources are also very different.

The spectrum of a sound source was established on Fourier transformation basis. The spectrum is largely dependent on the type of a gun by means of which the sound field is excited. The maximum width of the spectrum generated by a sound gun occupies almost two octaves, from 500 to 2000 Hz, and the radiation in this range is quite uniform. The spectra of a start gun and a hunting gun are similar but these guns emit less sound energy than a sound gun. The structure of reflections generated by them is also quite different. A toy gun radiates energy in a less narrower band, the width of which occupies about a half of octave, with a maximum at 2000 Hz. This is not very good because too small quantities of low- and medium-frequency sound energy are radiated.

---

**Vytautas STAUSKIS.** Doctor Habil, Professor. Dept of Building Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor (1974). From 1974 at VTU Department of Building Structures. Research visits: Moscow Civil Engineering Institute, Sankt-Petersburg Polytechnic Institute. Research interests: experimental testing of halls by primary hall models and on site, computer simulation of theoretic tasks, wave diffraction and reflections, direct sound and subjective acoustic indicators, large-dimension resonance structures, early attenuation of acoustic field and its relation to hall acoustics.

---

**Vytautas KUNIGĖLIS.** Doctor, Senior scientific researcher. Dept of Radiophysics, Laboratory of physical acoustics. Vilnius University, Saulėtekio al. 9, 2040 Vilnius, Lithuania.

A graduate of Vilnius University (1967, radiophysics). Doctor (1972, physics). In 1975 a special course at Higher school of physics and industrial chemistry in France. Research interests: acoustical investigation of solid states and other materials.