

PULSE LENGTH DEPENDENCE ON THE DECAY OF THE INTEGRATED PULSE ENERGY

V. J. Stauskis

To cite this article: V. J. Stauskis (2000) PULSE LENGTH DEPENDENCE ON THE DECAY OF THE INTEGRATED PULSE ENERGY, *Statyba*, 6:3, 206-212, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531588](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531588)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531588>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 33

INTEGRUOTO IMPULSO ENERGIJOS SLOPIMO PRIKLAUSOMYBĖ NUO SKIRTINGŲ IMPULSO ILGIŲ

V. J. Stauskis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Skirtingi impulso ilgiai gali duoti ir skirtingus skaičiavimų rezultatus. M. Vorlanderis ir H. Bietzas [1] nagrinėja aštuonis aidėjimo laiko matavimų metodus sužadinant garso lauką triukšmu ir impulsu. Aidėjimo laiko tikslumui padidinti ir triukšmo fono lygiui sumažinti jie siūlo naudoti impulso integravimo limitą, t. y. kada impulso dalis yra nupjaunama. Tačiau autoriai nenurodo, kokio ilgio impulsą geriausiai naudoti praktiniams tyrimams. Atliekant matavimus automatinio režimu nustatoma, kokioje vietoje reikia nupjauti impulsą. Pasigendama aidėjimo laiko dažninės priklausomybės nuo skirtingų ilgių impulsų.

A. Landeby ir kiti [2] siūlo metodą, leidžiantį nustatyti tašką, kuriame reikia nupjauti impulsą. Tam jie taiko *rms* vidurkinimo metodą ir šį procesą pakartoja penkis kartus. Radus tokį tašką galima atlikti impulso integravimą ir kartu sumažinti triukšmo fono įtaką reverberacijos laikui. Straipsnyje nagrinėjamas tik nefiltruotas signalas. Nėra dažninės priklausomybės ir praktinių pavyzdžių.

Ning Xiangas [3] skirtingus to paties impulso slopinimus aprašo funkcijomis ir naudoja viršutinį integravimo limitą. Autorius parodo priklausomybę tarp signalo-triukšmo santykio ir aidėjimo kreivių slopimo.

D. Morganas [4] nagrinėja aidėjimo kreivės slopimo priklausomybę nuo skirtingo ilgio impulsų pagal 20,40 ir 60 dB signalo-triukšmo santykį. Tuo praplečiamas energijos slopimo dinaminis diapazonas.

Šiuose darbuose autoriai nepateikia praktinių pavyzdžių, kokią įtaką skirtingo ilgio impulsai turi energijos slopimo kreivėms ir įvairių dažnių aidėjimo laikams. Neaišku, ar taikant šiuos metodus nustatytas impulso ilgis duoda geriausius rezultatus. Be to, impulso integravimas vykdomas pagal Schroederio metodą nesumažinant patalpos akustinio triukšmo fono.

Straipsnio tikslas – nustatyti energijos slopimo ir aidėjimo laikų dažninę priklausomybę nuo skirtingų impulso ilgių, taikant Schroederio integravimo metodą, kada triukšmo fonas yra sumažintas, o garso laukas sužadinas impulsu.

2. Nefiltruoto ir filtruoto signalo garso lauko slopimo priklausomybė nuo skirtingų impulso ilgių

Nagrinėdami foninio triukšmo sumažinimo įtaką reverberacijos laikui autoriai taikė Schroederio integralinio impulso atsako slopimo metodą [5]. Nustatydami tašką, kuriame reikia nupjauti impulsą, autoriai netyrinėjo, kokią įtaką tai turės skirtingų dažnių aidėjimo laiko reikšmėms. Be to, svarbu žinoti, ar tokiu atveju apatinis slopimo lygio aproksimavimo taškas turės reikšmę -45 dB, kuri būtina norint išmatuoti standartinį aidėjimo laiką T_{35} . Tai ypač svarbu esant žemesiems dažniams, kai signalo-triukšmo santykis paprastai yra mažas ir nepakankamas. Tokiu atveju, atliekant matavimus automatinio režimu, galima gauti matavimų paklaidas. Dažnai, esant žemesiems dažniams visiškai negalima tiesiogiai išmatuoti standartinio aidėjimo laiko T_{30} .

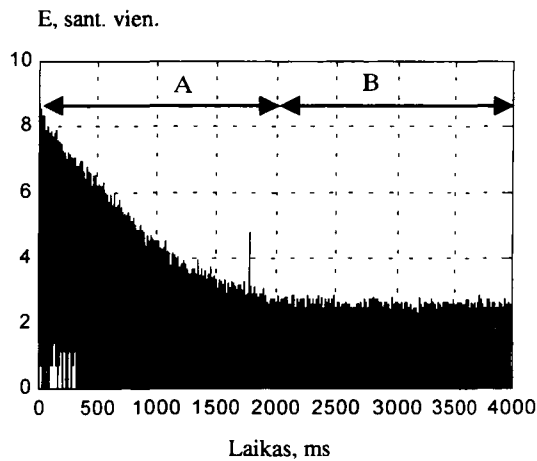
Tyrimams pasirinkime nedidelę salę, kurioje groja kamerinis orkestras. Jos ilgis 13,6 m, plotis 10,7 m ir aukštis 7 m. Salėje yra tik 170 pusiau minkštų kėdžių. Impulsinis garso šaltinis – 9-to kalibro garsinis pistoletas yra scenoje, 1,5 m nuo priekinės sienos. Matavimų mikrofonas – 6 m atstumu nuo garso šaltinio.

Tyrimams pasirinkti 6 skirtingi impulsų ilgiai –2000, 2500, 3000, 3500, 4000 ir 4500 ms. Tokia skirtinga impulsų ilgių gradacija leis aiškiai pamatyti, kokio ilgio impulsas geriausiai apibūdina slopimo procesą.

1 pav. pavaizduotas maksimalaus ilgio impulso garso energijos slopimas logaritminiu masteliu.

Nefiltruoto signalo garso laukas slopsta apytikriai iki 2000 ms, o toliau prasideda triukšmo fonas, kuris yra

nesumažintas. Grafikas rodo, kad reikia koncentruoti dėmesį į impulso ilgį, didesnius negu 2000 ms.



1 pav. Garso lauko energijos slopimas koncertų salėje. Salėje yra tik 170 kėdžių. A – naudingo signalo zona; B – triukšmų zona

Fig 1. The sound energy decrease in the concert hall. 170 chairs in the hall. A – useful signal zone; B – noise zone

Praktiniams rezultatams labai svarbu, ar triukšmo fonas bus sumažintas, ar ne. Triukšmo fonui sumažinti autorius siūlo tokią formulę:

$$\langle S^2(t) \rangle = N \int_{t_1}^{t_2} (p^2(\tau) - \langle p_{tr} \rangle (\tau)^2) d\tau, \quad (1)$$

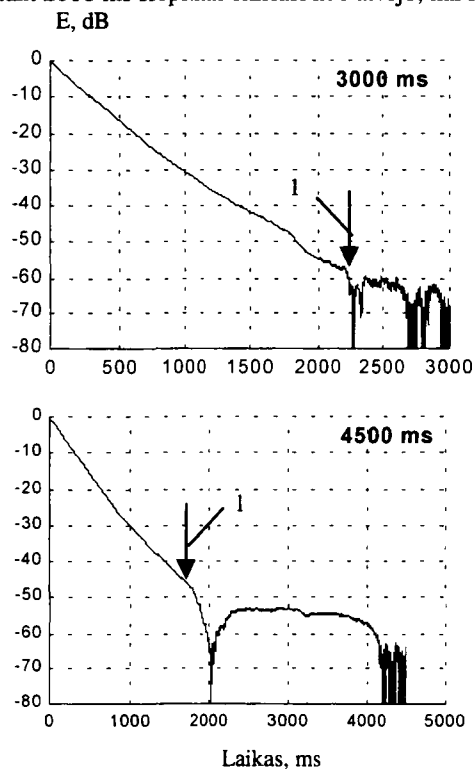
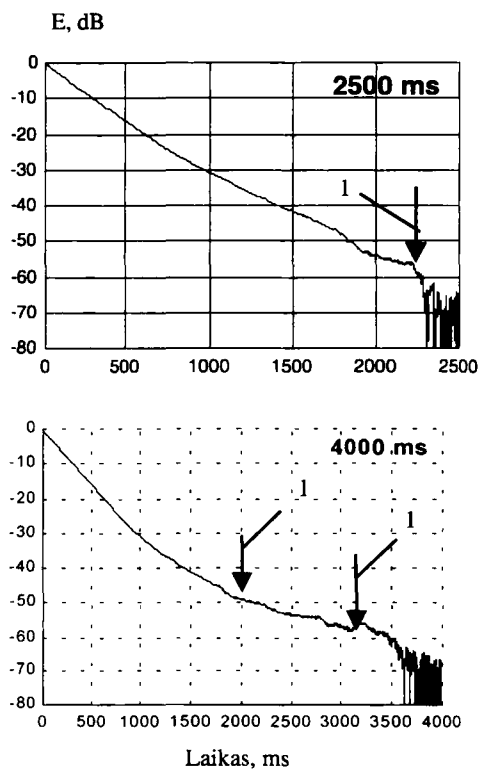
čia $\langle p_{tr} \rangle^2$ – vidutinis kvadratinis triukšmo slėgis, kuris randamas pagal formulę:

$$\langle p_{tr} \rangle^2 = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} p_{tr}^2(\tau) d\tau, \quad (2)$$

čia t_2 ir t_1 – triukšmo fono intervalas.

2 pav. linijiniu masteliu pavaizduota, kaip slopsta garso energija, esant skirtingiems impulso ilgiams taikant garso lauko slopimo integravimo metodą, kai triukšmo fonas yra sumažintas.

2500 ms ilgio impulsas yra per trumpas, nes negalime teisingai įvertinti triukšmo fono laiko intervalo. Šio ilgio impulsas tyrimams yra netinkamas. Tyrimams geras impulso ilgis yra 3000 ms. Tuo tarpu 3500 ms ilgis jau gali būti per didelis ir matavimų rezultatuose gali atsirasti klaidų. Kai impulso ilgis padidėja iki 4000 ms, tai pradedant 2000 ms slopimas skiriasi nuo atvejo, kai impulso



2 pav. Garso lauko energijos slopimo priklausomybė nuo laiko ir impulsų ilgio. 1 – maksimalaus slopimo riba

Fig 2. The dependence of sound energy decrease on time and pulse length. 1 – maximum decrease limit

ilgis yra 2500 ir 3000 ms. Šių impulsų triukšmų fonas prasideda nuo 2300 ms, o 4000 ms ilgio impulso jau nuo 3200 – 3300 ms. Visiškai tyrimams netinkamas maksimalus impulso ilgis 4500 ms. Šiuo atveju triukšmų zona prasideda labai anksti – nuo 1800 ms, tuo tarpu trumpam 2500 ms impulsui ji prasideda gerokai vėliau – po 2300 ms.

Aiškesnį vaizdą gausime, pavaizdavę slopinimą kitu masteliu (žr. 3 pav).

Impulsas, kurio ilgis 2000 ms, analizei, aišku, yra netinkamas, nes yra per trumpas ir apima naudingo signalo dalį. Impulsų, kurių ilgiai didžiausi ir lygūs 4000 ir 4500 ms, labai skiriasi energijos slopinimai baigiamojėje dalyje ir analizei taip pat netinkami. Ir tik impulsų, kurių ilgiai 2500, 3000 ir 3500 ms, yra beveik vienodi energijos slopinimai.

4 pav. pavaizduota, kaip garso lauko energijos slopinimas priklauso nuo dažnio.

Tyrinėjant energijos slopinimus svarbiausia nustatyti, koks yra maksimalus slopinimas. Nuo jo atmesdami –10 dB gausime tašką, kuris leis nustatyti, kokį aidėjimo laiką galime apskaičiuoti. Esant 63 Hz dažniui garso laukas slopsta beveik vienodai – iki 18 dB. Toliau slopinimai skiriasi. Ilgiausias – 4500 ms ir trumpiausias – 2500 ms impulsų slopinimai po –18 dB yra labai staigūs ir nuslopsta iki –30 dB. Tačiau, kaip matyti iš 3 pav., slopinimui įtakos jau turi triukšmo fonas. Taigi patiems žemiausiems dažniams trumpiausias ir ilgiausias impulsas skaičiavimams yra netinkami. Didžiausio energijos slopinimo yra impulsas, kurio ilgis yra 3000 ms. Po 1700 ms energija nu-

slopsta –30 dB. Taigi šiam dažniui galima išmatuoti aidėjimo laiką aproksimuojant slopinimą nuo 0 iki –20 dB.

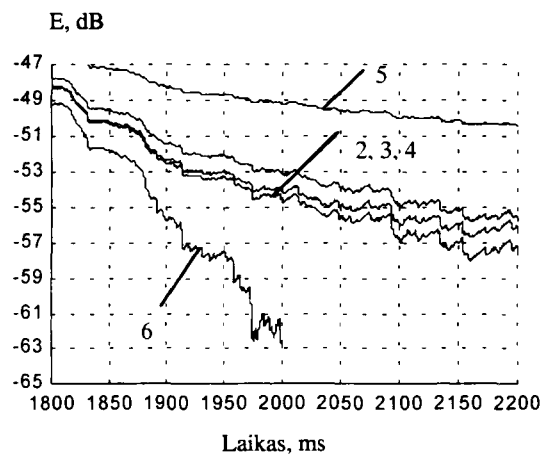
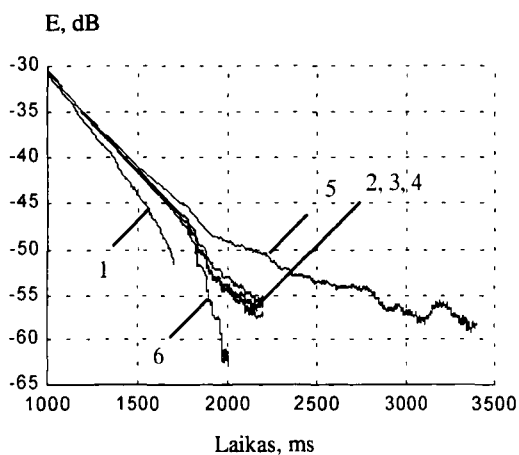
Didėjant dažniui, padėtis keičiasi. Kai jis yra 100 Hz, energija nuslopsta –35–37 dB, kai impulso ilgiai 2500 ir 4000 ms. Didžiausią slopinimą –42 dB duoda ilgiausias impulsas –4500 ms, nors tai ir kelia kai kurių abejonių. Tada galime išmatuoti aidėjimo laiką nuo 0 iki –30 dB.

Esant 125 Hz oktaviniam dažniui, mažiausio maksimalaus slopinimo –40 dB yra trumpiausias 2500 ms ilgio impulsas. Didžiausio slopinimo –50 dB yra ilgiausias 4500 ms impulsas. Taigi šiam dažniui jau galime išmatuoti ir standartinį aidėjimo laiką.

Kai dažnių diapazonas 250–2000 Hz, maksimalus energijos slopinimas yra pakankamas ir siekia –50–60 dB. Kai dažnis 4000 Hz, baigiamoji slopinimo dalis labai priklauso nuo impulso ilgio, tačiau, kadangi slopinimas visais atvejais siekia apie –55 dB, tai standartinį aidėjimo laiką nepriklausomai nuo to galime išmatuoti teisingai.

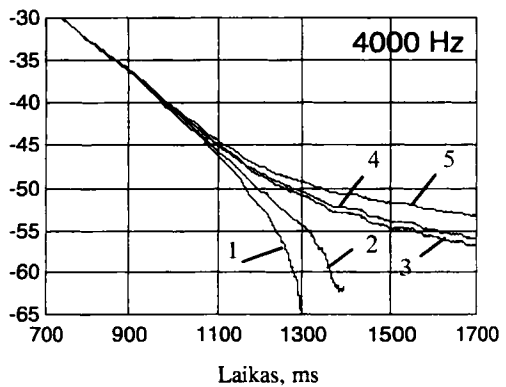
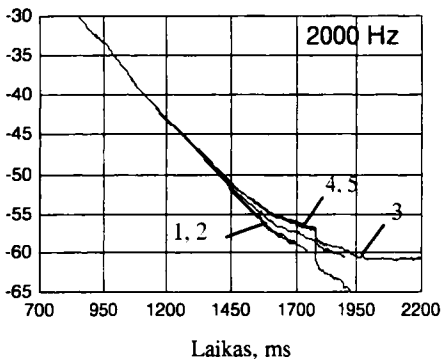
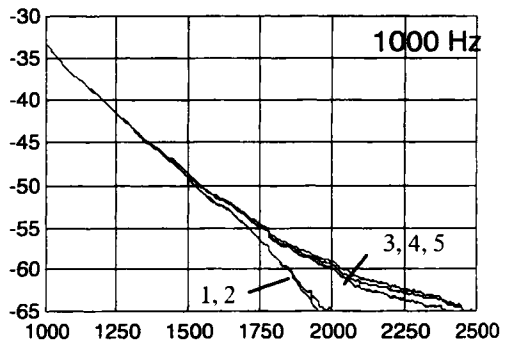
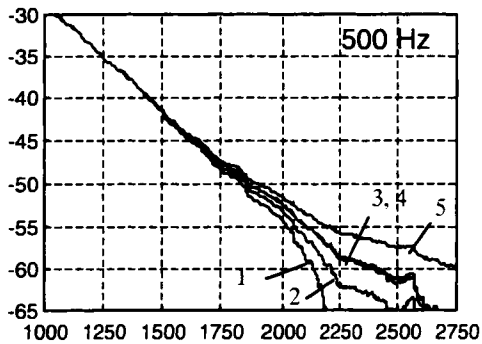
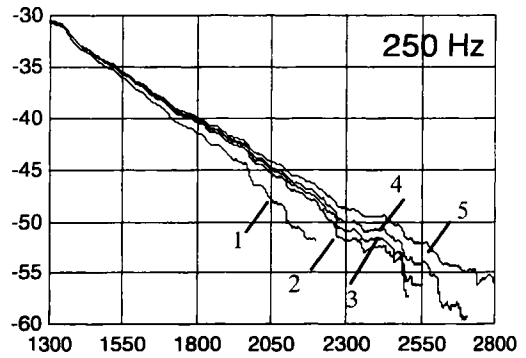
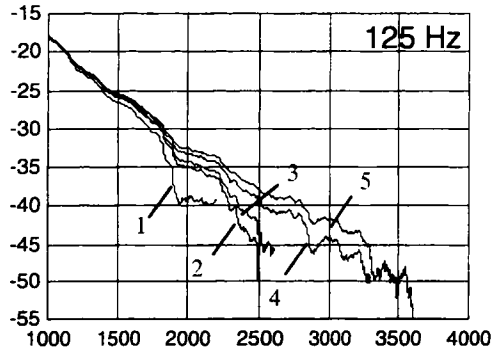
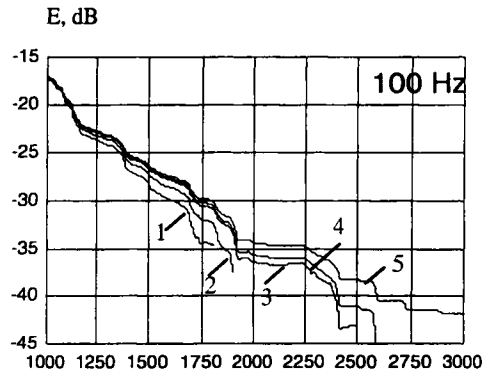
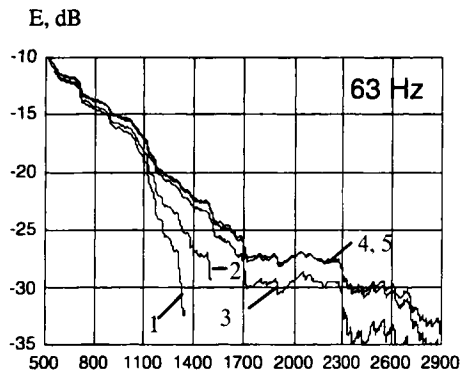
Vadinasi, impulsų ilgiai turi įtakos tik skaičiuojant žemųjų dažnių aidėjimo laiką. Kai dažniai yra 63–100 Hz, geriausią maksimalų slopinimą duoda impulsas, kurio ilgis 3000 ms, o dažniams 125 Hz ir didesniems geriausią slopinimą duoda impulsai, kurių ilgiai yra 3000–4000 ms.

Verta panagrinėti, kaip kinta energijos slopinimas toje pačioje salėje, kai joje pasikeičia akustinės sąlygos – joje yra 60 žiūrovų ir gobelenai, sukabinti ant visų sienų. Energijos slopinimas pavaizduotas 6 pav.



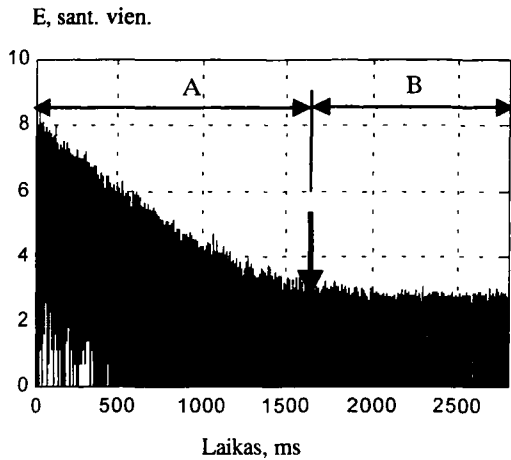
3 pav. Nefiltruoto signalo garso energijos slopinimas priklausomai nuo impulso ilgio. Salėje yra tik 170 kėdžių. 1– 2000, 2– 2500, 3– 3000, 4– 3500, 5– 4000 ir 6– 4500 ms

Fig 3. The dependence of sound energy decrease on pulse length. Only 170 chairs in the hall. 1– 2000, 2– 2500, 3– 3000, 4– 3500, 5– 4000 ir 6– 4500 ms



4 pav. Garso lauko energijos slopimas priklausomai nuo dažnio ir impulso ilgio. Salėje yra tik 170 kėdžių. 1 – 2500, 2 – 3000, 3 – 3500, 4 – 4000, ir 5 – 4500 ms

Fig 4. The dependence of sound energy decrease on frequency and pulse length. Only 170 chairs in the hall. 1 – 2500, 2 – 3000, 3 – 3500, 4 – 4000, ir 5 – 4500 ms



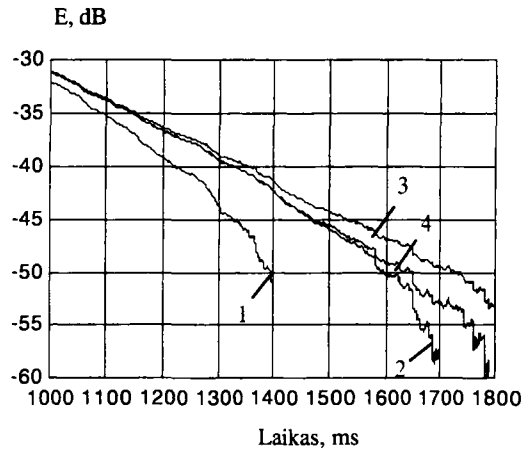
5 pav. Garso lauko energijos slopimas koncertų salėje. Joje – 170 kėdžių, 60 žiūrovų ir gobelenai ant sienų. A – naudingo signalo zona; B – triukšmų zona

Fig 5. The decrease of the sound energy in the concert hall. 170 chairs in the hall, 60 listeners and tapestry on the walls. A – useful signal zone; B – noise zone

Šiuo atveju energija slopsta greičiau negu pirmuoju atveju ir triukšmo fonas prasideda anksčiau – apytikriai nuo 1600 ms.

Energijos slopimą galima pavaizduoti kitu masteliu. (žr. 6 pav).

Kai salėje dar yra žiūrovų ir ant sienų kabo gobelenai, tai energijos slopimas yra beveik vienodas, kai impulsų ilgiai 2000–2800 ms. Geresnį slopimą šiuo atveju duoda ilgiausias – 2800 ms ilgio impulsas. Tuo tarpu, kaip matyti iš 3 pav., ilgiausio impulso energijos slopimas yra nepriimtinas.



6 pav. Nefiltruoto signalo garso energijos slopimas priklausomai nuo impulso ilgio. Salėje yra 170 kėdžių, 60 žiūrovų ir kabo gobelenai ant sienų. 1 – 1600, 2 – 2000, 3 – 2400, 4 – 2800 ms

Fig 6. The dependence of sound energy decrease on a non-filtered signal of a pulse length. Only 170 chairs in the hall, 60 listeners and tapestry on the walls. 1 – 1600, 2 – 2000, 3 – 2400, 4 – 2800 ms

7 pav. pateikiamas filtruoto signalo garso lauko slopimas, esant tik žemiesiems dažniams.

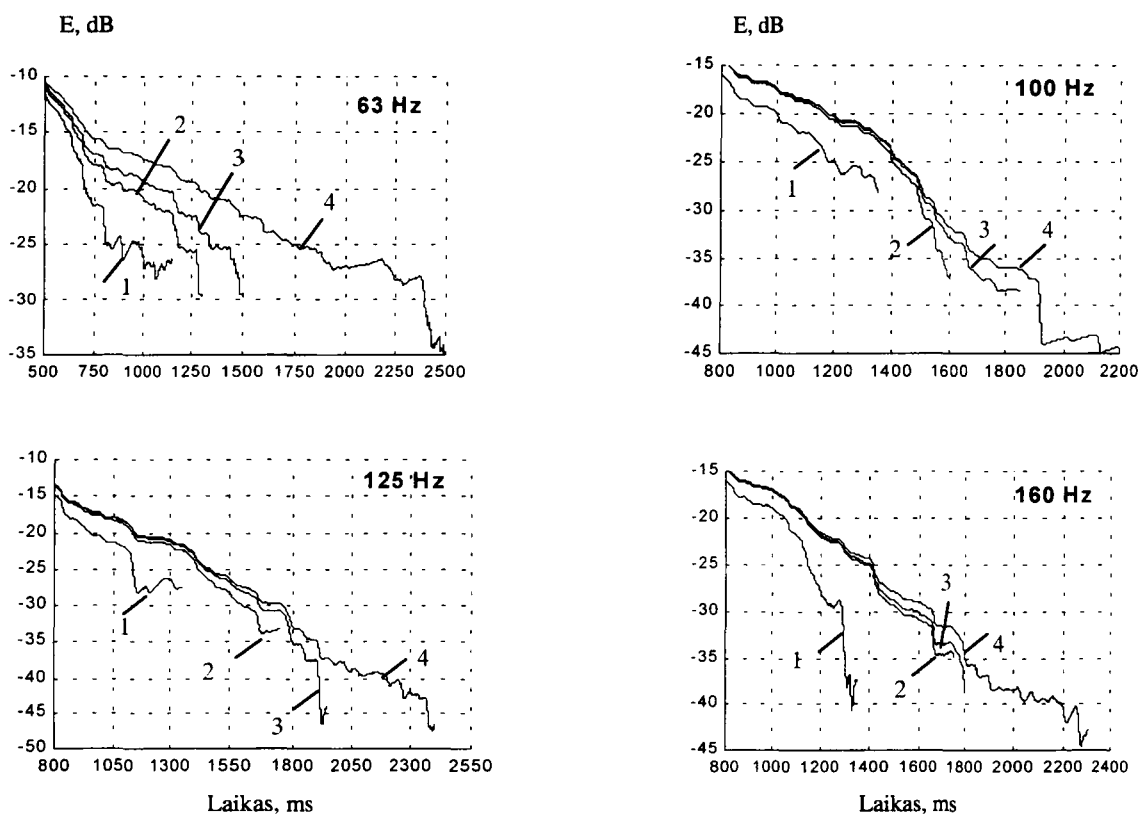
Grafikai rodo, kad esant žemiesiems dažniams, geriausias energijos slopimas yra impulso, kurio ilgis yra didžiausias. Tuo tarpu, kai salėje stovi tik kėdės, ilgiausias impulsas yra netinkamas skaičiavimams. Tai rodo, kad, nedaug pasiketęs salės akustinėms savybėms, pasikeis ir optimalus impulso ilgis.

Lentelėje pateikiami maksimalūs energijos slopimai skirtingose salėse, kai skiriasi jų akustinės savybės ir yra skirtingi impulsų ilgiai.

Maksimalūs energijos slopimai

Maximum energy decrease

Salė ir jos charakteristika	Impulsų ilgiai, ms	Dažniai. Hz									
		63	100	125	160	200	250	500	1000	2000	4000
Filharmonijos salė su 170 kėdžių	2500	-29	-35	-40	-41	-45	-50	-60	-60	-60	-55
	3000	-30	-42	-45	-47	-50	-55	-60	-60	-60	-55
	3500	-30	-43	-45	-50	-52	-55	-60	-60	-60	-55
	4000	-30	-37	-50	-52	-53	-55	-60	-60	-60	-55
	4500	-33	-42	-50	-52	-53	-55	-60	-60	-60	-55
Tokia pati salė, tik joje yra 60 žiūrovų ir kabo gobelenai	1600	-27	-25	-27	-30	-34	-38	-45	-50	-50	-60
	2000	-30	-37	-33	-35	-43	-50	-55	-65	-60	-60
	2400	-30	-38	-37	-37	-53	-52	-60	-65	-65	-60
	2800	-35	-37	-43	-43	-53	-58	-60	-65	-65	-57
„Viniaus“ kino teatras	750	-32	-37	-40	-40	-41	-43	-48	-60	-60	-58
	1000	-30	-35	-40	-40	-42	-43	-50	-58	-58	-58
	1500	-30	-35	-40	-42	-42	-45	-50	-60	-58	-52



7 pav. Garso lauko energijos slopinimas priklausomai nuo dažnio ir impulso ilgio. Salėje yra 170 kėdžių, 60 žiūrovų ir kabo gobelenai ant sienų. 1 – 1600, 2 – 2000, 3 – 2400, 4 – 2800 ms

Fig 7. The dependence of sound energy decrease on pulse length. Only 170 chairs in the hall, 60 listeners and tapestry on the walls. 1 – 1600, 2 – 2000, 3 – 2400, 4 – 2800 ms

3. Išvados

1. Impulsų ilgiai turi įtakos maksimaliam garso lauko energijos slopinimui.
2. Maksimaliai garso lauko energiją slopina didžiausio ilgio impulsas, tačiau tik esant žemesiems dažniams.
3. Esant vidutiniams ir aukštiesiems dažniams pakankamas slopinimas būna, kai impulsų ilgiai yra 3000–3500 ms.

Literatūra

1. M. Vorlander, H. Bietz. Comparison of Methods for Measuring Reverberation Time // *Acustica*, Vol 80, 1994, p. 205–215.
2. A. Lundeby, T. E. Vigran, H. Bietz, M. Vorlander. Uncertainties of Measurements in Room Acoustics // *Acustica*, Vol 81, 1995, p. 344–355.
3. Ning Xiang. Evaluation of reverberation times using a nonlinear regression approach // *J. Acoust. Soc. America*, 98(4), October 1995, p. 2112–2121.
4. D. R. Morgan. A parametric error analysis of the backward integration method for reverberation time estimation // *J. Acoust. Soc. America*, 101 (5), Pt. 1, May 1997, p. 2686–2695.

5. M.R. Schroeder. New method of measuring reverberation time // *J. Acoust. Soc. Amer.* 1965, V. 37, No 3, p. 409–412.

Įteikta 1999 11 19

PULSE LENGTH DEPENDENCE ON THE DECAY OF THE INTEGRATED PULSE ENERGY

V. J. Stauskis

Summary

The paper deals with the influence of the pulse length on the decay of the sound field energy. Six pulse lengths – 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 and 4500 ms – were selected for investigations.

Investigations show that a 2500 ms pulse is too short to correctly assess the background noise time interval. Such pulse length is not suitable for experiments. 3000 ms is the right length, while 3500 ms may be too long, resulting in errors of measurement results. When the pulse length increases to 4000 ms, the decay starting from 2000 ms is different from the pulse length 2500 ms and 3000 ms. Background noise starts from 2300 ms for these pulses, while for a 4000 ms pulse it starts from 3200 to 3300 ms. The length of 4500 ms is completely not suitable for investigations because the background noise zone starts very early, ie at 1800 ms, while for a short 2500 ms pulse it starts much later, after 2300 ms.

While investigating energy decay, it is important to determine the maximum decay. At 63 Hz the sound field decay is almost uniform till -18 dB. Later the decay character is different. The decay of the longest (4500 ms) and the shortest (2500 ms) pulse after -18 dB is very steep and reaches -30 dB. However, the decay is influenced by the background noise. Thus the shortest and the longest pulses are not suitable for the lowest frequencies. The greatest energy decay is characteristic of the 3000 ms pulse. After 1700 ms energy decreases to -30 dB. Thus at this frequency one may measure the echoing time while approximating decay from 0 to -20 dB.

As the frequency increases, the results change. At 100 Hz the energy decays by -35 – -37 dB at pulse lengths of 2500 ms and 4000 ms. The greatest decay of -42 dB is produced by the longest pulse 4500 ms though this arouses certain doubts. Then the echoing time may be measured from 0 to -30 dB.

At 125 octave frequency the smallest maximum decay of -40 dB is observed with the shortest pulse (2500 ms), while the largest one -50 dB is produced by the longest pulse (4500 ms). Thus standard echoing time may be measured for this frequency.

In the frequency range of 250-2000 Hz, the maximum energy decay is sufficient and amounts to -50 – -60 dB. At 4000 Hz the final part of decay is strongly dependent on the pulse length although, as the decay is about -55 dB in all cases, the standard echoing time may be measured correctly.

Pulse length is important only for the calculation of the low-frequency echoing time. At 63-100 Hz the best maximum decay is seen with the pulse 3000 ms long, while at 125 Hz and over the best pulse lengths are from 3000 to 4000 ms. When the hall contains audience and tapestries are on the walls, the energy decay is almost uniform at the pulse lengths of 2000 to 2800 ms. In this case a better decay is obtained with the longest pulse of 2800 ms.

Vytautas STAUSKIS, Doctor Habil, Professor, Dept of Building Structures, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.
E-mail: Stat@ar.vtu.lt

Doctor (1974), Doctor Habil (1977). From 1974 at VGTU Dept of Building Structures. Research visits: Moscow Civil Engineering Institute, Sankt-Petersburg Politechnic 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-scale resonance structures, early attenuation of acoustic field and its relation to hall acoustics.