

SIMILARITY BETWEEN ACOUSTIC INDICATORS OF AN REAL HALL AND ITS MODEL

V. J. Stauskis

To cite this article: V. J. Stauskis (1999) SIMILARITY BETWEEN ACOUSTIC INDICATORS OF AN REAL HALL AND ITS MODEL, *Statyba*, 5:1, 68-73, DOI: [10.1080/13921525.1999.10531435](https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531435)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531435>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 34

REALIOS SALĖS IR JOS MODELIO AKUSTINIŲ RODIKLIŲ PANAŠUMAS

V. J. Stauskis

1. Įvadas

Salių akustikos skaičiavimo metodai dar nėra tokie tobuli ir prieinami daugeliui projektuotojų, kad būtų galima tiksliai įvertinti būsimos salės akustines savybes. Tai ypač liečia muzikinės paskirties sales, kurių akustika yra sudėtingiausia.

Vertinant salių akustiką visada būtina nustatyti vieną iš pagrindinių objektyvių akustinių parametrų – reverberacijos laiką. Tai galima padaryti taikant plačiai pasaulyje naudojamą skaičiavimų metodą, kurio pagrindus šio šimtmečio pradžioje padėjo W. Sabine [1]. Jis pasiūlė formulę reverberacijos laikui apskaičiuoti. Šią formulę patobulino C. F. Eyringas [2] ir Millngtonas [3]. Formulės galioja tik esant difuziniam garso laukui. Tačiau jos neįvertina salės formos, garsą absorbuojančių medžiagų išdėstymo vietų, tiesioginio garso savybių, klausytojo atstumo iki garso šaltinio, garso bangų difrakcijos, bangų interferencijos, oro tūrio rezonansų, pasikartojančių aidų ir kt. Reverberacijos laikas, apskaičiuotas pagal šias formules, yra neįvertinamas visose salės vietose. Tačiau yra žinoma, kad išmatuotas reverberacijos laikas yra skirtingas įvairiose salės vietose. Jo kitimui didelę įtaką turi salės forma, skirtingos garsą absorbuojančių medžiagų akustinės charakteristikos, jų išdėstymo vietos, atstumas iki garso šaltinio, garso lauko difuziškumas, pasikartojantys aidai ir kt. [4]. Tokiu atveju apskaičiuotas reverberacijos laikas nuo išmatuoto gali skirtis 2–4 kartus [5].

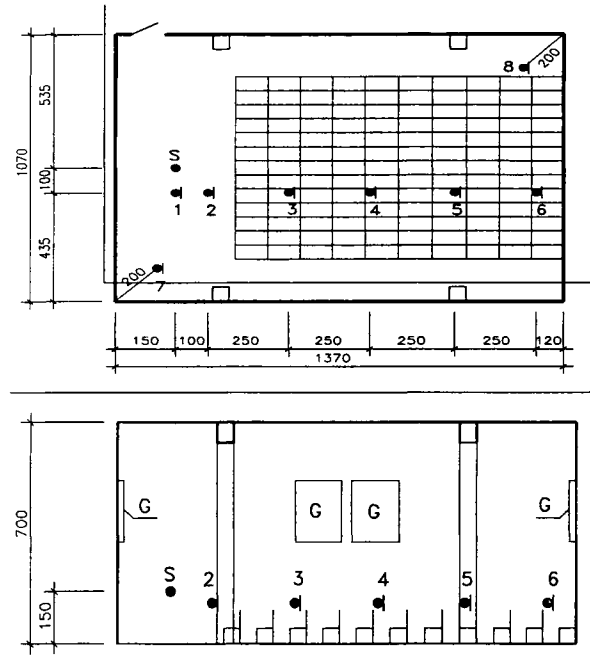
Todėl formuojant salių akustiką būtini matavimai. Projektavimo stadijoje juos galima atlikti tyrimams naudojant fizinį salės modelį. Jo mastelis gali būti nuo 1:10 iki 1:50. Tyrimais modelyje galime nustatyti salės formos, garsą absorbuojančių medžiagų išdėstymo vietų, garso koncentracijos, pasikartojančių aidų ir kitų faktorių įtaką objektyviems

ir subjektyviems salės akustiniams rodikliams, Skaičiavimais tokių faktorių įtakos nustatyti praktiškai neįmanoma.

Darbo tikslas – eksperimentais nustatyti realios salės ir jos modelio pagrindinių akustinių rodiklių panašumus ir įvertinti jų skirtumus.

2. Tyrimų objektas

Tyrimams pasirinkta Lietuvos nacionalinės filharmonijos mažoji koncertų salė. Jos planas ir pjūvis pavaizduoti 1 paveiksle. Tokį pasirinkimą lėmė tai, kad ši salė yra paprastos stačiakampio formos ir jos modelį padaryti yra lengviausia. Realios salės, kurios plano ir pjūvio forma yra sudėtinga, o



1 pav. Tiriamos salės planas ir pjūvis su tyrimo taškų išdėstymu

Fig 1. The plan and longitudinal section of the hall under investigation with the allocation of measurement points

paviršių plokštumos yra iš įvairios formos ir matmenų struktūrinių elementų, modeli padaryti yra labai sunku.

Salės lubos ir grindys yra horizontalios. Sienos – tinko, grindys – parketo, o lubos – iš dažytų gelžbetoninių plokščių. Salėje yra vienas langas ir trejos durys. Taigi visi salės paviršiai yra iš gerai garsą atspindinčių medžiagų.

Salės modelio mastelis 1:25. Modelio grindys ir lubos padarytos iš tekstolito, o visos sienos iš 8 mm storio faneros, kuri buvo lakuojama tris kartus. Taigi modelio medžiagos pagal garso absorbcijos savybes yra artimos realios salės medžiagoms. Tai yra svarbu tiriant realios salės ir jos modelio akustinių rodiklių panašumą.

3. Tyrimų metodika

Tyrimams realioje salėje kaip garso šaltinis buvo panaudotas 9-to kalibro garsinis pistoletas. 1/2' mikrofona įtaisyta taške Nr. 3. Garsinis signalas per stiprintuvą ir keitiklį analogas-kodas buvo įrašomas į kompiuterio atmintį ir po to 50–5000 Hz dažnių diapazono signalas analizuojamas pagal mūsų sukurtą akustinių signalų analizės programą. Taip buvo apskaičiuoti pagrindiniai objektyvūs ir subjektyvūs salės akustiniai rodikliai.

Tyrimams salės modelyje buvo panaudotas kibirkštinis garso šaltinis, kuris išspinduliavo tiek garsinius, tiek ir ultragarsinius signalus. Modelio šaltinis buvo iškišamas pro skylę grindyse tam, kad pagerėtų spinduliavimo kryptingumo diagrama. Šaltinio ir 1/4' mikrofono padėtys realioje salėje ir jos modelyje buvo tos pačios. Signalas iš mikrofono buvo paduodamas į stiprintuvą, iš jo į specialiai pagamintą keitiklį analogas-kodas ir užrašomas į kompiuterio atmintį. Signalas gali būti įrašytas per kelis skirtingus buferius, kurie leido keisti signalo įrašymo trukmę. Esant modelio masteliui 1:25 tiriamų dažnių diapazonas siekė nuo 1250 iki 50 000 Hz. Signalo diskreditavimo dažnis buvo 166,6 kHz, o diskreditavimo laikas – 6 mks. Grafikuose visi dažniai buvo perskaičiuoti į natūrinius. Viršutinė dažnių riba modelyje buvo apribota 2000 Hz tam, kad Naikvisto dažnis būtų didesnis už 3.

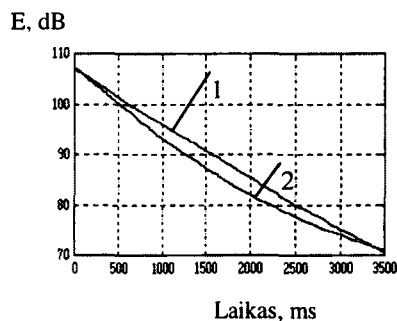
Realiai salei ir jos modeliui lyginsime nefiltruoto signalo reverberacijos laiko reikšmes, apro-

simuojant garso lauko slopimą nuo 0 iki –10, –20, –30, –35 ir nuo –5 iki –35, nuo –15 iki –25, nuo –20 iki –30 ir nuo –25 iki –35 dB, filtruoto signalo reverberacijos laiko reikšmes, absorbcijos koeficientus, bendrąją absorbciją ir subjektyvius rodiklius.

4. Tyrimų rezultatai

2 paveiksle pavaizduota, kaip slopsta nefiltruoto signalo energija realioje salėje ir jos modelyje.

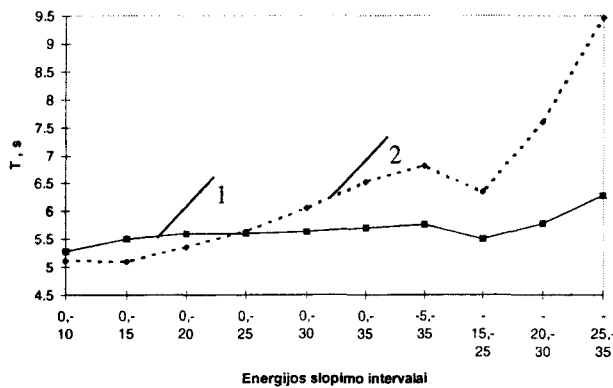
Grafikas rodo, kad garso lauko slopimas yra beveik vienodas per pirmas ir paskutines 400 ms, t. y. ankstyvuju ir vėlyvuju slopimo periodu. Tarpiniu laiko intervalu, apytikriai nuo 500 iki 3000 ms, garso lauko slopimas modelyje yra didesnis negu realybėje. Tačiau tas skirtumas yra nedidelis ir siekia tik 1–3 dB. Šie rezultatai rodo, kad realioje salėje iki 2500 ms garso lauko slopimas yra visiškai artimas tiesei, o tai reiškia, kad laukas yra beveik difuzinis. Tuo tarpu salės modelyje garso lauko slopimas visiškai artimas tiesei tik iki 1000 ms ir jis slopsta greičiau negu realybėje. Tolesnis lauko slopimas turi kreivės pobūdį ir lauko difuziškumas pablogėja. Šie rezultatai rodo, kad garso lauko slopimas realioje salėje ir jos modelyje yra visiškai artimi.



2 pav. Garso energijos slopimas realioje salėje (1) ir jos modelyje (2)

Fig 2. The decrease of the sound energy in the real hall (1) and its model (2)

Daug akustinės informacijos gali duoti nefiltruoto signalo reverberacijos laiko reikšmės realioje salėje ir modelyje, kada lauko slopimas yra apksimuojuamas skirtingais lygio slopimo intervalais. Tyrimų rezultatai pateikiami 3 paveiksle.



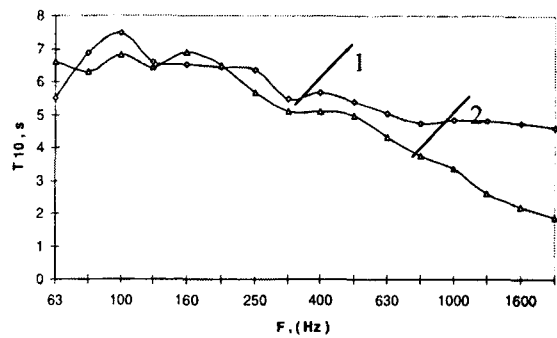
3 pav. Nefiltruoto signalo reverberacijos laiko priklausomybė nuo įvertintų garso lauko slopimo intervalų realioje salėje (1) ir jos modelyje (2)

Fig 3. The dependence of the reverberation time of a non-filtered signal with estimate decrease intervals in the real hall (1) and its model (2)

Realios salės garso lauko slopimas yra artimas tiesei tol, kol lygio slopimas aproksimuojamas kas 10 dB nuo 0 iki -35 dB. Tai rodo, kad realios salės garso laukas yra difuzinis. Panaši padėtis yra ir tada, kai slopimo pradžią imame nuo -15 ir -20 dB. Ir tik aproksimuojant slopimą nuo -25 iki -35 dB, reverberacijos laikas gaunamas kiek didesnis. Tai rodo, kad vėlyvuojų slopimo periodu garso lauko difuziškumas pablogėja.

Analizuojant salės modelio garso lauko slopimą skirtingais intervalais matome, kad rezultatų sutapimas su realia sale yra labai geras, kai slopimas yra aproksimuojamas kas 10 dB nuo 0 iki -30 dB. Reverberacijos laiko skirtumas siekia 0,16–0,5 s ir yra mažesnis negu 10%. Aproksimuojant lauko slopimą nuo -5 iki -35 dB modelyje reverberacijos laikas gaunamas didesnis negu realioje salėje apie 1 s, ir tai sudaro apie 15%. Laikoma, kad rezultatų nesutapimas 10–15% yra labai mažas. Kiek didesnis rezultatų nesutapimas gaunamas tik vėlyvuojų garso lauko slopimo periodu. Tačiau tai nėra taip svarbu, nes pagrindiniai objektyvūs rodikliai yra nustatomi aproksimuojant lauko slopimą iki -30 ar -35 dB.

Tyrinėjant salių akustiką visada reikia žinoti, kokios yra objektyvių akustinių rodiklių dažninės priklausomybės skirtingais slopimo intervalais. 4 paveiksle pateikiamas realios salės ir jos modelio ankstyvojo reverberacijos laiko dažninė priklausomybė.

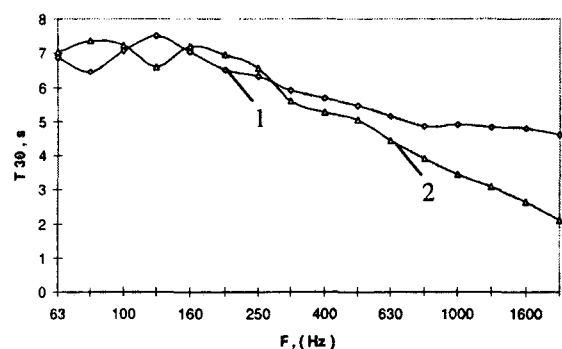


4 pav. Realios salės (1) ir jos modelio (2) reverberacijos laiko, aproksimuoto pagal garso lauko slopimą nuo 0 iki -10 dB, dažninė priklausomybė

Fig 4. The dependence of the reverberation time approximation of the sound decrease from 0 to -10 dB in the real hall (1) and its model (2)

Rezultatai rodo, kad realios salės ir jos modelio ankstyvasis reverberacijos laikas net iki 500 Hz skiriasi nedaug – -0,2 -0,8 s. Toliau augant dažniui skirtumas vis labiau didėja. Tam realiausios įtakos turi oro garso absorbcija modelyje. Tai yra todėl, kad dažniams, esant didesniems kaip 630 Hz, modelyje jau gaunami ultragarsiniai dažniai, kurių bangos yra labai trumpos ir absorbcija ore yra labai aiški [6].

Visiškai panašūs rezultatai gaunami ir tada, kai garso lauko slopimas aproksimuojamas nuo 0 iki -30 dB. Rezultatai pateikiami 5 paveiksle.

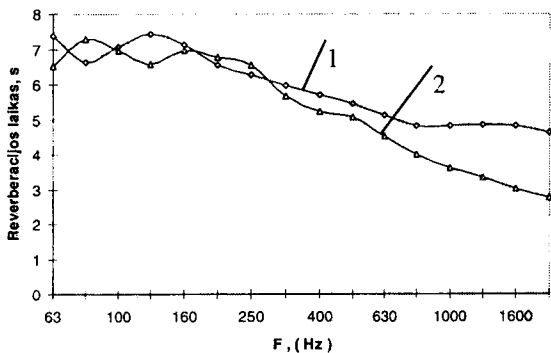


5 pav. Realios salės (1) ir jos modelio (2) reverberacijos laiko, aproksimuoto pagal garso lauko slopimą nuo 0 iki -30 dB dažninė priklausomybė

Fig 5. The dependence of the reverberation time approximation of the sound decrease from 0 to -30 dB in the real hall (1) and its model (2)

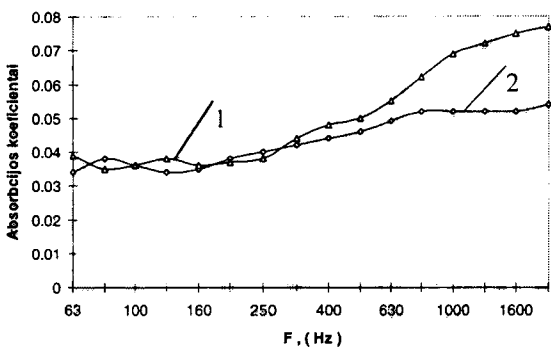
Ir šiuo atveju geri rezultatų sutapimai gaunami iki 500–630 Hz. Dažnių intervalui esant iki 630 Hz realioje salėje ir jos modelyje reverberacijos laikai skiriasi mažiau kaip 1 s, ir tai esant dviem dažniams, o tai sudaro tik apie 10%. Didėjant dažniui reverberacijos laikai jau skiriasi gan stipriai ir tam įtakos turi jau minėta garso absorbcija ore.

Standartinio reverberacijos laiko tyrimų rezultatai pateikiami 6 paveiksle.



6 pav. Realios salės (1) ir jos modelio (2) reverberacijos laiko, aproksimuoto pagal garso lauko slopimą nuo -5 iki -35 dB, dažninė priklausomybė

Fig 6. The dependence of the reverberation time approximation of the sound decrease from -5 to -35 dB in the real hall (1) and its model (2)



7 pav. Realios salės (1) ir jos modelio (2) garso absorbcijos koeficientų, apskaičiuotų iš reverberacijos laiko aproksimuojant garso lauko slopimą nuo -5 iki -35 dB, dažninė priklausomybė

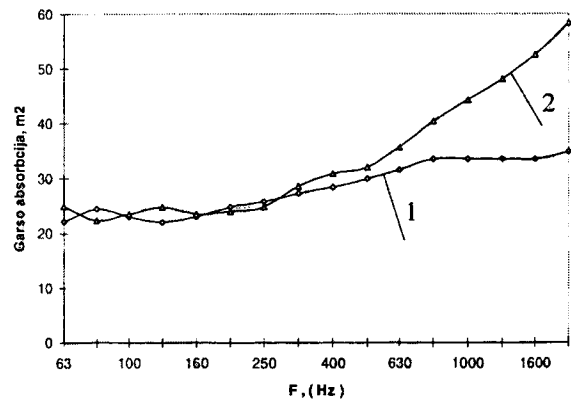
Fig 7. The dependence of the sound absorption coefficients calculated of the reverberation time approximation of the sound decrease from -5 to -35 dB in the real hall (1) and its model (2)

Grafikas rodo, kad realios salės ir jos modelio standartinės reverberacijos reikšmės iki 500 Hz skiriasi nedaug. Šis skirtumas yra beveik toks pats, kaip ir aproksimuojant lauko slopimą nuo 0 iki -10 ir -35 dB. Rezultatai rodo, kad garso lauko energijos slopimas yra tolygus iki pat -35 dB.

Iš reverberacijos laiko reikšmių apskaičiuoti realios salės ir jos modelio garso absorbcijos koeficientai ir bendroji garso absorbcija. Rezultatai pateikti 7 ir 8 paveiksluose.

Realios salės ir jos modelio garso absorbcijos koeficientai yra beveik vienodi dažnių diapazonui esant iki 500–630 Hz. Didėjant dažniui skirtumas didėja, nes pasireiškia didelė garso absorbcija ore.

Garso absorbcijos kitimas pavaizduotas 8 paveiksle.



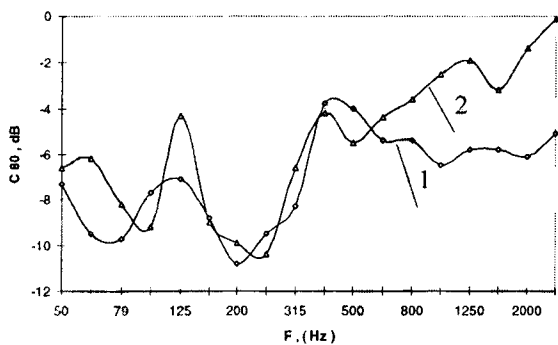
8 pav. Realios salės (1) ir jos modelio (2) garso absorbcijos, apskaičiuotos iš reverberacijos laiko aproksimuojant garso lauko slopimą nuo -5 iki -35 dB, dažninė priklausomybė

Fig 8. The dependence of the sound absorption calculated of the reverberation time approximation of the sound decrease from -5 to -35 dB in the real hall (1) and its model (2)

Garso absorbcijos kitimo charakteris yra toks pats, kaip ir absorbcijos koeficientų. Iki 500 Hz realios salės ir jos modelio absorbcijos skiriasi labai nedaug – tik $1-2$ m². Augant dažniui šis skirtumas didėja iki $5-20$ m².

Vienas iš pagrindinių subjektyvių muzikos skambėjimo rodiklių yra aiškumo indeksas. Jo reikšmės yra susijusios su garso atspindžių struktūra įvairiais laiko intervalais. Nefiltruotam signalui realios salės aiškumo indeksas yra $-5,6$ dB, o jos

modeliui $-4,9$ dB ir šis skirtumas yra nedidelis. Šio rodiklio dažninės priklausomybės pateiktos 9 paveiksle.



9 pav. Realios salės (1) ir jos modelio (2) muzikos skambėjimo aiškumo indekso dažninė priklausomybė

Fig 9. The frequency dependence of music clarity index in the real hall (1) and its model (2)

Salės ir jos modelio aiškumo indeksai visiškai artimi dažnių diapazonui esant 630 Hz ir tik esant 63 ir 125 Hz rezultatai skiriasi apie 1,5 dB. Didėjant dažniui skirtumas didėja dėl minėtos garso absorbcijos ore.

5. Išvados

1. Dažnių intervalui esant nuo 63 iki 500–630 Hz filtruoto signalo reverberacijos laikai, apskaičiuoti pagal slopinimą nuo 0 iki -10 , -20 , -30 ir nuo -5 iki -35 dB, gaunami visiškai artimi realios salės reverberacijos laikams. Jie skiriasi tik 4–14%. Tai rodo, kad panaudotos modeliui medžiagos yra identiškos realios salės medžiagoms.
2. Nefiltruoto signalo garso lauko slopinimas realioje salėje ir jos modelyje yra beveik visai vienodas per pirmas ir paskutines 400 ms. Tarpiniame laiko intervale, apytikriai nuo 500 iki 3000 ms, garso lauko slopinimas modelyje yra tik 1–3 dB didesnis negu tikrovėje.
3. Realios salės ir jos modelio garso absorbcija dažnių diapazonui esant 500 Hz skiriasi tik 1–2 m².
4. Realios salės modelyje galima tirti tokius akustinius reiškinius, kaip garso lauko difuziškumas, pasikartojantys aidai, oro tūrio rezonansai ir kt., t. y. procesus, kurių apskaičiuoti teoriškai neįmanoma.

Literatūra

1. D. Fitzroy. Reverberation formula which seems to be more accurate with non uniform distribution of absorption // J. Acoust. Soc. Am., 31, 893, 1959.
2. W. Sabine. Amer. Arch. and Building News. New York, 1900.
3. C. F. Eyring. Reverberation time in "dead" rooms // J. Acoust. Soc. Am., 1, 217, 1930.
4. A. Millington. A modified formula for reverberation // J. Acoust. Soc. Am., 69, 1932.
5. Л. Макриенко. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986. 172 с.
6. H. Winkler. Die Kompensation der su grossen Luftabsorption bei raumakustischen Modellmessungen mit Echogrammen // Hochfrequenztechnik und Elektroakustik. 1964, V. 73, N. 4, S. 132-138.

Įteikta 1998 11 20

SIMILARITY BETWEEN ACOUSTIC INDICATORS OF AN REAL HALL AND ITS MODEL

V. J. Stauskis

Summary

The similarity between acoustic indicators of a real hall and its model has been examined. A rectangular hall is 13.6 m long, 10.7 m wide and 7.0 m high. Its floor and ceiling are horizontal. The hall has plastered walls, parquet floor, and reinforced-concrete-slab ceiling. Thus, all surfaces of the hall are made of materials that reflect sound well.

A hall model scaled 1:25 was made. The floor and ceiling of the model were made of fabric-based laminate and the walls were made of veneer 8 mm thick, lacquered three times. Therefore, the materials used to produce the model are similar to those of the real hall by their sound absorption properties.

A 9 calibre sound pistol was used as a sound source for the investigations in the real hall. The sound signal was stored in the computer memory via a 1/2' microphone, an amplifier and an analog-to-digital converter, then analysed by means of an acoustical signal analysis program developed by us. The signal was analysed within the frequency range of 50 – 5000 Hz. The main objective and subjective acoustical indicators of the hall were calculated using this program.

A spark sound source was used for the experiments with the hall model. It was thrust through a hole in the floor in order to improve the radiation directivity diagram. The position of the sound source and a 1/4' microphone was the same in the real hall and its model. The signal was fed from the microphone to the amplifier, then to the analog-to-digital converter and recorded in the computer memory. The signal may be recorded via several different buffers allowing to record

signals of varied length. The range of the frequencies investigated was from 1250 to 50000 Hz, the model scale being 1:25. The signal digitization frequency was 166.6 kHz and the digitization time was 6 mks.

The decrease of the sound field of a non-filtered signal is of a similar nature during the first and the last 400 ms, i.e. during the early and the late periods of decrease. In the intermediate period, approximately from 500 to 3000 ms, the sound field decrease in the model exceeds the one in the real hall by only 1-3 dB. In the real hall, the sound field decrease is close to the straight line up to 2500 ms, while in the model – up to 1000 ms only, and the decrease is faster than in actual practice. The further field decrease has the character of a curve and the diffusive properties of the field are impaired. These results show that the sound field decrease in the real hall and in the model is quite similar.

Investigations show that the sound field decrease in the real hall and in the model is almost analogous when the decrease is approximated every 10 dB from 0 to –30 dB. The reverberation time difference is 0.16-0.5 s and is lower than 10%. As the field decrease is approximated from –5 to –35 dB, the reverberation time of the model exceeds that of the real hall by about 1 s, which makes up about 15%.

The difference between the early reverberation time of the real hall and its model is only –0.2 – 0.8 s even up to 500 Hz. This is mainly determined by the air sound absorption in the model at the ultrasound frequencies.

As the sound field decrease is approximated from 0 to –30 dB and from –5 to –35 dB, the difference between the reverberation time of the hall and its model in the frequency range up to 500 Hz is slight, only 0.2-0.9 s, which is less than 15%.

The character of change in the sound absorption is analogous to that of the sound absorption coefficients. In the range up to 500 Hz, the sound absorption of the real hall and its model differs by 1-2 m² only. As frequency increase, the difference reaches –20 m².

For a non-filtered signal, the music sound clarity index C 80 is 5.6 dB for the real hall and 4.9 dB for the model.

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.