

GARŠĄ SUGERIANČIŲ PLOKŠČIŲ PAVIRŠIAUS PLOTO ĮTAKOS PATALPOS AIDĖJIMO TRUKMEI VERTINIMAS

Tomas ASTRAUSKAS¹, Raimondas GRUBLIAUSKAS²

¹VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

²VGTU Aplinkos apsaugos institutas

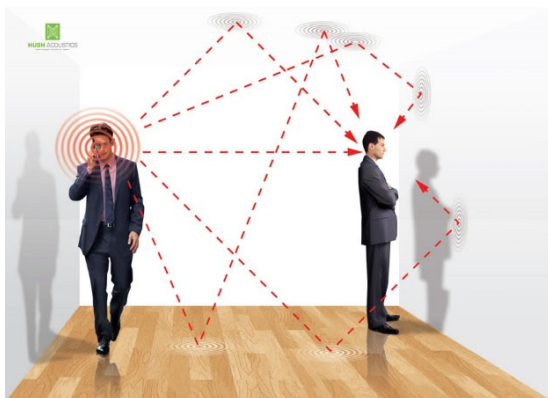
El. paštas: ¹tomas.astrauskas@vgtu.lt; ²raimondas.grubliauskas@vgtu.lt

Anotacija. Patalpos aidėjimo trukmė $R_{T,60}$ labiausiai priklauso nuo garsą sugeriančių medžiagų paviršiaus ploto patalpoje. Patalpų aidėjimo trukmei mažinti gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose naudojamos lengvos, perforuotos medžiagos, kurios dažniausiai yra naudojamos lubų konstrukcijose. Šiame darbe yra tiriama tiesioginė garsą sugeriančios medžiagos paviršiaus ploto priklausomybė nuo patalpos aidėjimo trukmės natūrinėmis (*in-situ*) sąlygomis. Tyrimų metu buvo keičiamas garsą sugeriančios medžiagos bendras paviršiaus plotas ir išdėstymas patalpoje, siekiant išsiaiškinti koreliaciją tarp sugeriančio paviršiaus patalpoje ir aidėjimo trukmės. Gauti rezultatai parodė, kad teorinis modelis yra teisingas. Eksperimentiniu būdu nustatytas reverberacijos laikas kito nuo 1,2 iki 2,25 s atitinkamai esant visoms garsą sugeriančioms plokštėms ir jų nesant. Kalbos perdavimo indeksas atitinkamai kito nuo 0,72 iki 0,83.

Reikšminiai žodžiai: reverberacijos laikas, garso sugertis, garsą sugeriančios medžiagos, patalpų akustika, kalbos perdavimo indeksas.

Įvadas

Reverberacijos laikas – tai rodiklis, kuris parodo patalpos gebėjimą nuslopinti garso lygį per laiką. Reverberacija, kaip fizikinis reiškinys, yra garso bangų pasikartojimas dėl nevisiškos garso sugerties patalpoje (1 paveikslas). Bangų pasikartojimu vadinamas reiškinys, kai banga atsimuša nuo garsą nesugeriančių paviršių (sienų, lubų, baldų) (Nowoświat ir Olechowska, 2016).

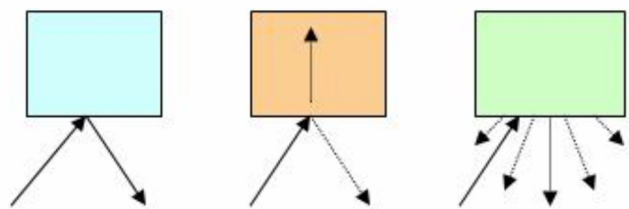


1 paveikslas. Reverberacijos reiškinio principinė schema

Reverberacijos laikas – vienas iš pagrindinių rodiklių, nusakančių kalbos suprantamumą patalpoje. Kalbos suprantamumas patalpoje nusakomas bedimensiu rodikliu STI, kuris gali kisti nuo 1,0 iki 0,0.

Į šį rodiklį ypač kreipia dėmesį kino, koncertų, laukimo salių ir bažnyčių projektuotojai (Queiroz de Sant’Ana ir Zannin, 2011). Kalbos suprantamumo rodiklis nusako, kaip aiškiai žmogus supranta jam siunčiamą informaciją, pvz., žodžių aiškumą, muzikos „švarumą“.

Reverberacijos laikas geriausiai charakterizuojamas akustinėmis medžiagų savybėmis (2 paveikslas).



2 paveikslas. Pagrindinės medžiagų akustinės savybės: kairėje – atspindys, viduryje – sugertis, dešinėje – išsklaidymas

Atspindys – tai garso pasikartojimas dėl atspindinčių garso bangų nuo medžiagos paviršiaus (Cho, Ih, Katsumata ir Toi, 2018).

Garso sugertis – tai medžiagos savybė paversti garso energiją į kitos formos (šiluminę) energiją. Garso sugertį aprašo medžiagos garso sugerties koeficientas α . Garso sugertis klasifikuojama pagal ISO 11654 standartą (Sobolev, 2000; International Organization for Standardization, 1997).

Garso išsklaidymas – tai medžiagos savybė atspindėti garso bangas, jas išsklaidant mažomis porcijomis.

Reverberacijos laikas patalpoje priklauso nuo patalpos tūrio, formos ir joje esančių garsą sugeriančių paviršių.

Esant mažesnei patalpai, reverberacijos laikas yra ženkliai mažesnis, palyginti su didesne todėl, kad garso banga per tą patį laiko tarpą atsimuša į sienas ir greičiau nusilpsta (Mcneer, Bennett, Horn ir Dudaryk, 2017).

Reverberacijai mažinti dažniausiai naudojamos garsą sugeriančios medžiagos arba įvairūs reflektoriai, kurie atmuša garso bangą ten, kur ji netrukdo klausytojui (Baynes ir Godin, 2017). Patalpos aidėjimui mažinti garsą sugeriančių paviršių naudojimas pirmą kartą buvo pradėtas tyrinėti Harvardo mokslininkų dar XIX a. pirmoje pusėje. Tyrimai rodė, kad didinant garsą sugeriančių medžiagų plotą patalpoje, mažėja reverberacijos laikas. Mokslininko Wallace'o Clement'io Sabine'o sukurta reverberacijos laiko skaičiavimo metodika yra naudojama iki šiol (Sabine ir Dwight, 1966; Ghilhare ir Pandey, 2017).

Pastaruojamu metu, kaip būdą reverberacijai mažinti, pradėta taikyti įvairius reflektorius, sklaidytuvus ir netiesias lubų formas. Reflektoriai ir lubų formos sukuriama taip, kad garso banga būtų kreipiama ten, kur netrukdo klausytojui. Tokias sistemas bandoma pritaikyti didelėse auditorijose, kur gali susidaryti sąlygiškai didelis reverberacijos laikas (Yang ir Hodgson, 2007; Neubauer ir Kostek, 2001; Meissner, 2008).

Apklausų tyrimai parodė, kad didėjant reverberacijos laikui žymiai suprastėja kalbos supratimas patalpoje, o tai ypač jaučia klausos sutrikimų turintys žmonės (George, Goverts, Festen ir Houtgast, 2010, pp. 1429–1439). Signalo priėmimo (klausytojo kalbos supratimo) problema dažnai kyla įvairiose laukimo salėse, kur didelis reverberacijos laikas yra nepageidautinas reiškinys. Tokio tipo salėse svarbiausia yra perduodama informacija (Delfarah ir Wang, 2017).

Kadangi reverberacijos laikas yra vienas iš pagrindinių faktorių, darančių įtaką žmogaus informacijos priėmimo suprantamumui, daugiausia tyrimų atliekama koncertų ir laukimo salėse, oro uostuose ir įvairiose traukinių

bei autobusų stotyse. Pastarosiose labai svarbu, kad informacija pasiektų klausytojus. Reverberacijos laikas patalpoje yra vienas iš pagrindinių kriterijų nustatant garso kokybę patalpoje (Billon, Picaut ir Sakout, 2008). Tam, kad atitiktų klausytojų lūkesčius, koncertų salėse buvo atliekami pakankamo aidėjimo laiko tyrimai, kuomet muzikos ekspertai nustatė, kokio aidėjimo lygio pakanka, kad galima būtų koncertuoti. Adelmano-Larseno ir kolegų (2018) atlikta muzikantų apklausa parodė, kad panašaus reverberacijos laiko skirtingos patalpos gali sudaryti gan skirtingą vertinimą tarp muzikantų, o taip yra todėl, kad žmogus garsą kaip malonų supranta esant skirtingam reverberacijos laikui atskirose dažnių juostose. Apklausa parodė, kad ilgesnis reverberacijos laikas yra labiau toleruotinas žemų dažnių juostose 63–125 Hz, o esant aukštesniems dažniams tolerancija žymiai mažesnė (Adelman-Larsen, Jeong ir Støfringsdal, 2018).

Tam, kad būtų galima objektyviai nustatyti perduodamos informacijos aiškumą, yra naudojamas Kalbos perdavimo rodiklis – STI. Signalo (garsinio pranešimo) perdavimo ir kalbos aiškumui nustatyti STI yra viena plačiausiai naudojamų standartizuotų metodikų (Morales, Leembruggen, Dance ir Shield, 2018).

Reverberacijos laikas yra viena iš dedamųjų kalbos perdavimo indeksui nustatyti, tačiau mokslininkai sukūrė statistiniu metodu paremtą funkciją, kur STI skaičiuojamas tik nuo reverberacijos laiko (Nowoświat et al., 2016). Mokslininko M. R. Schroederio sukurti skaičiavimai yra plačiai naudojami ir aprašyti standarte ISO 9921. M. R. Schroederio sukurtuose skaičiavimuose kalbos perdavimas priklauso nuo:

- Moduliacijos dažnio ir reverberacijos laiko;
- Pirmos bangos aido vėlavimo laiko ir amplitudės;
- Triukšmų garso intensyvumo (foninis garsas) (Schroeder, 1981).

Šio tyrimo tikslas – nustatyti garsą sugeriančio ploto įtaką reverberacijos laikui ir įvertinti, koks gali būti STI reikšmės pasikeitimas esant skirtingam reverberacijos laikui.

Metodika

Reverberacijos laiko tyrimams pasirinkta patalpa buvo apstatyta baldais, joje lubos buvo uždengtos garsą sugeriančiomis plokštėmis. Pasirinktosios patalpos tūris yra 43,2 m³. Tam, kad būtų galima nustatyti garsą sugeriančių plokščių įtaką reverberacijos laikui, buvo keičiamas sugerties plotas. Pasirinktos tokios garso sugerties ploto procentinės vertės: 100 %, 75 %, 50 %, 25 % ir 0 % nuo galimo

1 lentelė. Medžiagų sugerties įvesties duomenys (Smardzewski et al., 2015; Everest ir Shaw, 2001)

Pavadinimas	Plotas, m ²	125 Hz, α	250 Hz, α	500 Hz, α	1000 Hz, α	2000 Hz, α	4000 Hz, α
Garsą sugeriančios lubų plokštės	16,0*	0,35	0,35	0,3	0,35	0,45	0,5
Mediniai stalai ir spintos	5,0	0,02	0,03	0,04	0,08	0,12	0,15
Grindinys, linoleumas	16,0	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,2
Sienos, dažytos	41,8	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Durys, medinės	2,0	0,1	0,07	0,05	0,04	0,4	0,04
Matuotojas	1 žmogus	0,16	0,29	0,55	0,8	0,92	0,9
Langai	1,9	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Perdangos betonas	16,0**	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07

* Plotas, esant 100 % garsą sugeriančių plokščių padengtumui.

** Plotas, esant 0 % garsą sugeriančių plokščių padengtumui.

ploto. 100 % yra laikoma, kai garsą sugeriančių plokščių plotas yra 16,0 m².

Tyrimų metu buvo naudojamos standartinės pakabinamųjų lubų mineralinės plokštės *Armstrong Atlas*. Šių lubų plokščių garso sugertis yra pateikta 1 lentelėje.

Reverberacijos laiko tyrimas patalpoje susideda iš teorinės ir praktinės dalių:

1. Reverberacijos nustatymas patalpoje, remiantis teoriniais skaičiavimais;
2. Reverberacijos nustatymas patalpoje, remiantis eksperimentiniais tyrimais;
3. STI reikšmės skaičiavimai.

1. Reverberacijos laiko nustatymas, remiantis teoriniais skaičiavimais

Reverberacijos laiką lemiantys patalpos parametrai yra medžiagos sugerties plotas, kuris yra matuojamas bedimensiu dydžiu, Sabinais ir patalpos tūriu.

$$R_{T,60} = 0.161 \cdot \frac{V}{S}, (s), \quad (1)$$

čia: $R_{T,60}$ – 60 dB garso slopimo trukmė (Sekundėmis); S – garso sugerties plotas (Sabinai); V – patalpos tūris, m³.

Tokią sugerties ploto ir reverberacijos laiko skaičiavimo metodiką pasiūlė Harvardo universiteto fizikas Wallace'as Clementis Sabine'as. Formulėje Nr. 1 pateiktas reverberacijos laiko skaičiavimo būdas. Iš čia matyti, kad reverberacijos laikas tiesiogiai priklauso nuo medžiagos sugerties ploto (Sabine ir Dwight, 1966).

Garso sugerties plotas yra bedimensis dydis, kuris priklauso nuo sugeriančių medžiagų ploto ir medžiagos sugerties koeficiento.

Tai yra dydis, priklausantis nuo garsą sugeriančios medžiagos ploto ir sugerties koeficiento:

$$S = A_1 \cdot \alpha_1 + A_2 \cdot \alpha_2 + A_3 \cdot \alpha_3 + \dots + A_n \cdot \alpha_n \text{ (Sabinai)}, \quad (2)$$

čia: S – sugerties plotas (Sabinai); A_1 ; A_2 ; A_3 ; A_n – garsą sugeriančios medžiagos paviršiaus plotas; α_1 , α_2 , α_3 , α_n – atskirų garsą sugeriančių medžiagų garso sugerties koeficientai (Queiroz de Sant'Ana ir Zannin, 2011, pp. 511–517).

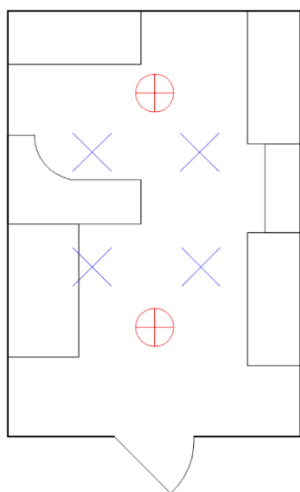
Iš formulės Nr. 2 matyti, kad sugerties plotas skaičiuojamas kiekvienos medžiagos sugerties koeficientą padauginus iš medžiagos ploto patalpoje.

Teorinis reverberacijos nustatymo modelis yra pateiktas 1 formulėje. Pagrindinis kintamasis dydis reverberacijos laikui nustatyti yra sugerties plotas. Kadangi tirtoji patalpa buvo apstatyta baldais, 1 lentelėje pateikiami modelyje naudoti garso sugerties koeficientai.

2. Reverberacijos nustatymas patalpoje eksperimentiniais tyrimais

Reverberacijos eksperimentiniai tyrimai patalpoje buvo atlikti remiantis standartu LST EN ISO 3382-2:2008 „Akustika. Patalpų akustinių parametrų matavimas. 2 dalis. Įprastinių patalpų aidėjimo trukmė“. Atliekant tyrimus buvo sukurtos difuzinio lauko sąlygos. (International Organization for Standardization, 2008) Tyrimams buvo naudojamas visakryptis garso šaltinis ir garso slėgio lygio matuoklis. Abu šie prietaisai pagaminti *Bruel and Kjaer* firmos, įranga buvo sukalibruota prieš ir po tyrimo. Reverberacijos tyrimų metu buvo naudojamas baltasis triukšmas. *In-situ* sąlygomis išmatuoti parametras R_{T60} yra neįmanoma dėl per greito bangos nusilpnėjimo, todėl matuojamas dydis yra R_{T30} . Aidėjimo laiko trukmė nuo laiko priklauso tiesiogiai, todėl:

$$R_{T60} = R_{T30} \cdot 2. \quad (3)$$



3 paveikslas. Mikrofono ir garso šaltinio pozicijų principinė schema: garso šaltinis – +; mikrofonas – X

Eksperimentinių tyrimų metu matuotojas buvo patalpoje.

Difuzinio lauko sąlygos buvo sukurtos naudojant dvi visakrypčio garso šaltinio ir aštuonias mikrofono pozicijas. Tyrimo metu matuotojas buvo patalpoje. Mikrofono ir garso šaltinio pozicijos pateikiamos 3 paveiksle. Eksperimentinio tyrimo rezultatai palyginami su STR 2.01.07:2003 „Pastatų vidaus ir išorės aplinkos apsauga nuo triukšmo“ reikalavimais.

2 lentelė. Mokyimo klasių klasifikatorius pagal $R_{T,60}$ rodiklį (Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija, 2003)

	B klasė	C klasė	D klasė	E klasė
Mokyimo klasėse, išskyrus muzikos klases, 125÷2000 Hz dažnių juostose	0,6	0,8	0,9	1,0

Kadangi tyrimai buvo atliekami universitete, pasirinktas mokyimo patalpose taikomas aidėjimo trukmės $R_{T,60}$ klasifikavimas (2 lentelė).

Tyrimo paklaidos skaičiuojamos pagal standartinį nuokrypį. Kadangi reverberacijos laiko tyrimas buvo atliekamas kartojant tyrimą bent 3 kartus vienoje pozicijoje, tuomet paklaidą galima apskaičiuoti:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

čia: s – standartinis nuokrypis; n – matavimų kiekis; x_i – i -tojo matavimo rezultatas; \bar{x} – matavimo rezultato vidurkis.

3. STI reikšmės patalpoje skaičiavimas

Kalbos perdavimo indeksas (STI) buvo skaičiuojamas remiantis lygtimi Nr. 3. STI skaičiavimams buvo naudojamos eksperimentinio tyrimo metu gautos reverberacijos laiko vertės. STI reikšmei skaičiuoti yra naudojamos vidutinės 500, 1000 ir 2000 Hz oktavos juostų reverberacijos trukmės.

STI nustatymui naudojama *Nowos'wiat* ir *Olechowska* sukurta statistiniu metodu amplitudės moduliacijos funkcija:

$$STI = A \cdot \ln T + B, \quad (5)$$

čia: STI – kalbos perdavimo indeksas; T – reverberacijos laikas; $A; B$ – pataisos koeficientai $A = -0,2078$; $B = 0,6488$; T – reverberacijos laikas.

Pasak autorių, jų sukurtas kalbos suprantamumo indekso nuo reverberacijos laiko funkcijos patikimumo koeficientas $R^2 = 0,9892$ ir jis yra tinkamas STI reikšmei nustatyti.

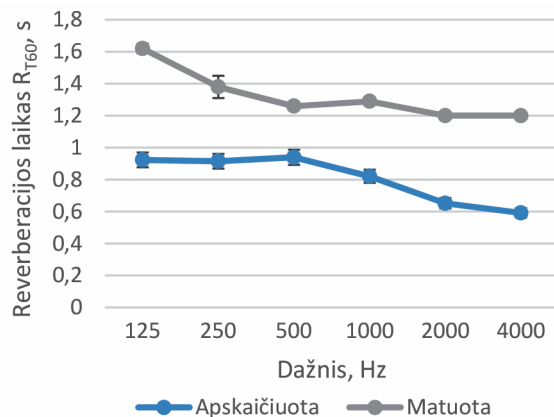
3 lentelė. Garso kokybė pagal STI reikšmes (Standard, 2005)

STI reikšmė	Garso kokybė
0,0–0,3	Bloga
0,3–0,45	Prasta
0,45–0,6	Vidutinė
0,6–0,75	Gera
0,75–1	Puiki

Pagal 3 lentelę nustatoma garso kokybė tiriamojoje patalpoje.

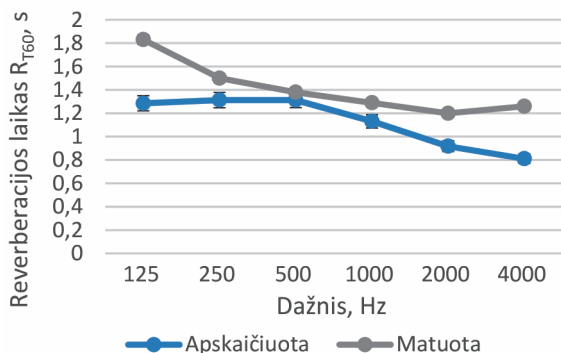
Rezultatai

Eksperimentinių ir teorinių tyrimų metu pirmiausia buvo nustatyta patalpos aidėjimo trukmė nepakeitus priminių sąlygų, t. y. nenuėmus garsą sugeriančių lubų plokščių.



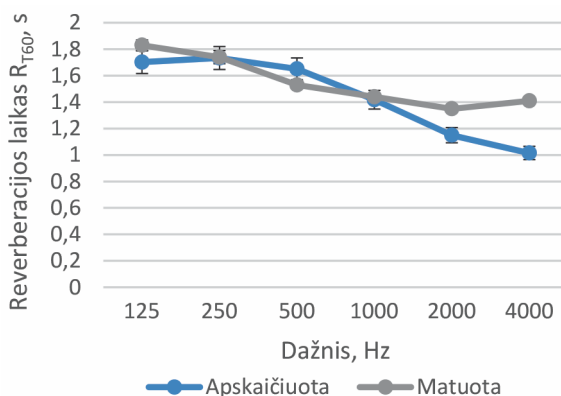
4 paveikslas. Tiriamosios patalpos aidėjimo trukmė R_{T60} esant 100 % garsą sugeriančių plokščių

4 paveiksle matyti, kad pamatuota aidėjimo trukmė gana ženkliai skiriasi nuo sumodeliuotų reikšmės. Tai gali būti susiję su garsų sugeriančių plokščių gamintojo pateikiamais garso sugerties koeficiento duomenimis. Grafike matyti, kad išmatuota ir sumodeliuota aidėjimo trukmė mažėja didėjant oktavos dažniui. Tai yra sąlygojama maža garso sugertimi esant žemesniems oktavos dažniams.



5 paveikslas. Tiriamosios patalpos aidėjimo trukmė R_{T60} esant 75 % garsų sugeriančių plokščių

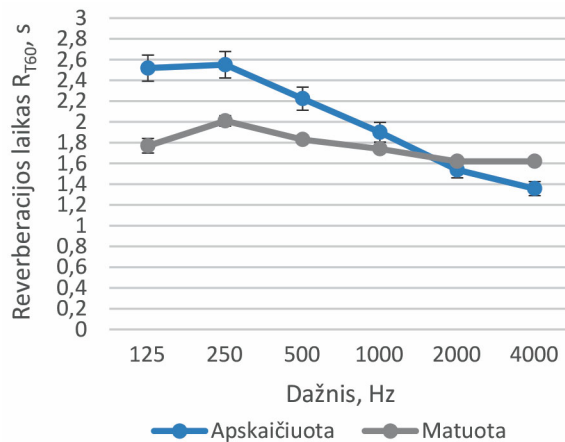
5 paveiksle matyti, kad sumažinus garsų sugeriančių plokščių plotą iki 12 m² aidėjimo trukmė padidėja. Pažymėtina, kad sumodeliuotos ir pamatuotos R_{T60} vertės priartėja viena prie kitos sumažinus garsų sugeriančių plokščių plotą. Pamatuotos ir sumodeliuotos reikšmės labiausiai skiriasi oktavos dažnių juostose esant 125 ir 4000 Hz, skirtumas atitinkamai siekia 29 ir 35 %.



6 paveikslas. Tiriamosios patalpos aidėjimo trukmė R_{T60} esant 50 % garsų sugeriančių plokščių

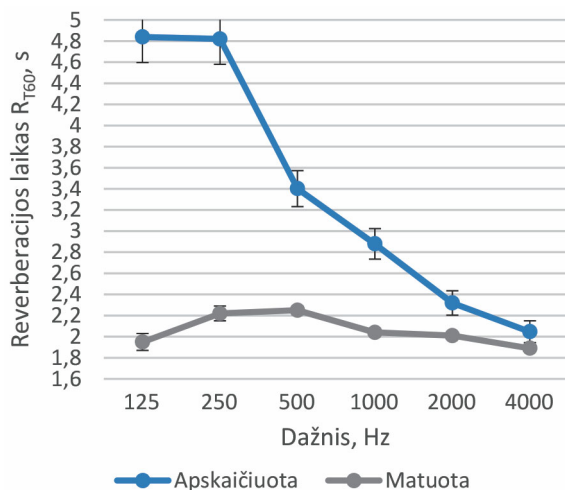
6 paveiksle pateiktos sumodeliuotos ir pamatuotos vertės yra panašios. Prieš tyrimą atliktų skaičiavimų metu 2000 ir 4000 Hz oktavos juostose nustatytos vertės skiriasi nuo pamatuotų. Nustatytas skirtumas atitinkamai siekia 14 ir 28 %. Tai galima paaiškinti tuo, kad tyrimų metu nebuvo išnešti daiktai, kurie buvo sudėti ant stalų (įvairios knygos, kompiuteriai ir t. t.), taip pat šių daiktų garso sugerties koeficientai nebuvo įvesti į skaičiavimo modelį, nors jie ir

darė įtaką reverberacijos laikui patalpoje. Sumažinus garsų sugeriančių plokščių kvadraturą iki 8 m², reverberacijos laikas nežymiai padidėjo, palyginti su 12 m².



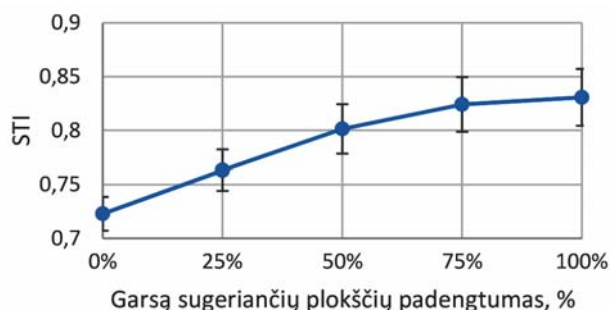
7 paveikslas. Tiriamosios patalpos aidėjimo trukmė R_{T60} esant 25 % garsų sugeriančių plokščių

Sumažinus garsų sugeriančių plokščių plotą iki 25 % (4 m²), R_{T60} vertės padidėja, palyginti su anksčiau paminėtais tyrimais. Esant tokiam garsų sugeriančių lubų plokščių plotui, sumodeliuotos vertės oktavos dažnių juostose nuo 125 iki 1000 Hz yra didesnės. Tai paaiškinama tuo, kad nuimant plokštes nebuvo ardoma laikančioji konstrukcija ir nenuimti šviestuvai. Sumodeliuotų R_{T60} verčių grafike matyti, kad mažinant garsų sugeriančių plokščių kvadraturą, didėja patalpos aidėjimo trukmės skirtumas tarp žemų ir aukštesnių dažnių. Tai yra paaiškinama tuo, kad modelyje žemų dažnių garsų sugeria tik garsų sugeriančios lubų plokštės. Eksperimentinių tyrimo metu tai nebuvo nustatyta, nes garsų taip pat sugeria daiktai, kurie yra neįvesti į modelį, taip pat dalis garso energijos pereina į gretimas patalpas ar yra išspinduliuojama per fasadinę sieną.



8 paveikslas. Tiriamosios patalpos aidėjimo trukmė R_{T60} esant 0 % garsų sugeriančių plokščių

Nuėmus visas garsą sugeriančias lubų plokštes, matyti didžiulis skirtumas tarp numatomos ir išmatuotos R_{T60} verčių (8 paveikslas). Kaip ir 7 paveiksle, atsiranda ta pati modeliavimo problema. Sumodeliavus patalpą be įvairių daiktų ir baldų, modelis būtų tikslesnis. Nuėmus visas garsą sugeriančias plokštes nustatyta, kad tokiu atveju aidėjimo trukmė yra ilgiausia ir modelis iš esmės yra teisingas. Atkreiptinas dėmesys, kad pamatuotos ir sumodeliuotos vertės ypač skiriasi. Eksperimentinių tyrimų metu gautos aidėjimo trukmės reikšmės esant dažniams nuo 125 iki 250 Hz nėra didesnės už aukštesnių R_{T60} vertes. Tai yra paaiškinama tuo, kad garsą sugėrė įvairūs daiktai, esantys patalpoje, be to, dalis energijos perėjo į kitas patalpas. Pastebėtina, kad žemo dažnio garso bangos turi daugiausiai energijos ir puikiai persiduoda kietais kūnais.



9 paveikslas. STI indeksas esant skirtingam garsą sugeriančių lubų plokščių plotui patalpoje

Atlikus kalbos perdavimo indekso skaičiavimus nustatyta, kad jo pokytis yra nuo 0,72 iki 0,83 (9 paveikslas). Mažinant garsą sugeriančių lubų plokščių plotą, STI sumažėjimas nėra didelis, tačiau žmogaus ausiai pastebimas. Tai matyti iš garso klasifikavimo (3 lentelė).

Diskusija

Atliktų tyrimų metu nustatytos reverberacijos trukmės vertės didėjo mažinant garsą sugeriančių plokščių plotą. Eksperimentiniu būdu nustatytas reverberacijos laikas kito nuo 1,2 iki 2,25 s, priklausomai nuo garsą sugeriančių lubų plokščių ploto. Nors ir esant 100 % garsą sugeriančių lubų plokštėms, patalpa neatitinka E garso klasei keliamų reikalavimų pagal STR 2.01.07:2003. Eksperimentinių tyrimų metu nebuvo nustatyta, kad aidėjimo trukmė būtų mažesnė, nei 1 s dažnių juostose nuo 125 iki 2000 Hz.

W. C. Sabine'o sukurtas modelis turi trūkumų, nors ir yra naudojamas iki šiol. Tyrime naudotas modelis nevertina prarastos garso energijos į kitas patalpas, todėl šis modelis yra tik apytikslis, nustatant aidėjimo trukmę patalpoje. Kitų autorių teigimu, sumodeliuoti garso sugertį apstatytoje patalpoje yra sudėtinga dėl įvairiakrypčių

atspindžių ir daiktų, kurie sudaryti iš skirtingų medžiagų sugerties. Tai padidina skaičiavimo formulės netikslumą. Taip pat dar vienas skaičiavimų tikslumą ribojantis veiksnys buvo tai, kad naudojami medžiagų sugerties koeficientai buvo paimti iš žinytų ir gamintojų specifikacijų, o tikslūs tiriamojoje patalpoje esančių garsą sugeriančių medžiagų α koeficientai nebuvo žinomi (Astolfi, Corrado ir Griginis, 2008).

Kalbos perdavimo indeksas kito nuo 0,72 iki 0,83. Skaičiavimai rodo, kad patalpos vidaus garso kokybė, remiantis eksperimentiniais tyrimais, yra gera arba puiki. Remiantis 3 lentele, gera garso kokybė patalpoje nustatyta tik nuėmus visas garsą sugeriančias lubų plokštes, kitais atvejais nustatyta garso kokybė buvo puiki.

Kitų autorių vykdytuose tyrimuose pastebėtos tos pačios tendencijos. Autorių teigimu, efektyviausias reverberacijos trukmės mažinimo būdas yra didinti sugerties plotą (Nijs ir Rychtarikova, 2011; Neubauer ir Kostek, 2001; Billon et al., 2008).

Tolesniuose tyrimuose bus siekiama naudoti naujas medžiagas aidėjimo trukmei patalpoje mažinti, taip pat atlikti detalesnį tyrimą, galintį atskleisti, kodėl reverberacijos laiko trukmė sąlygiškai mažai skyrėsi esant 75 % ir 50 % garsą sugeriančių plokščių padengtumui.

Išvados

Didinant garsą sugeriančių lubų plokščių plotą, nustatyta, kad reverberacijos laikas mažėja. Eksperimentiniu būdu nustatytas reverberacijos laikas kito nuo 2,25 iki 1,2 s atitinkamai garsą sugeriančias plokštes uždengus 100 % ir išėmus visas garsą sugeriančias lubų plokštes.

W. C. Sabine'o sukurtas modelis nevisiškai tinkamas skaičiuoti reverberacijos laikui *in-situ* sąlygomis. Reverberacijos laikui daro įtaką daiktai, kurių garso sugertis nėra aiški: dalis garso realiomis sąlygomis pereina į kitas patalpas, o modelis į šias aplinkybes neatsižvelgia.

Atlikus STI skaičiavimus, mažiausia nustatyta vertė buvo 0,72, nesant garsą sugeriančių plokščių, o esant pilnam uždengimui – 0,83. Pastebėta, kad garso perdavimo indeksas, esant 75 % garsą sugeriančių plokščių parengtumui, buvo 0,82. Paklaidos ribose šis pokytis yra minimalus.

Literatūra

- Adelman-Larsen, N. W., Jeong, C. H., & Støfringsdal, B. (2018). Investigation on acceptable reverberation time at various frequency bands in halls that present amplified music. *Applied Acoustics*, 129, 104-107. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.07.005>

- Astolfi, A., Corrado, V., & Griginis, A. (2008). Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms. *Applied Acoustics*, 69(11), 966-976. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.08.001>
- Baynes, A. B., & Godin, O. A. (2017). Rayleigh scattering of a cylindrical sound wave by an infinite cylinder. *Journal of the Acoustical Society of America*, 142(6). <https://doi.org/10.1121/1.5017610>
- Billon, A., Picaut, J., & Sakout, A. (2008). Prediction of the reverberation time in high absorbent room using a modified-diffusion model. *Applied Acoustics*, 69(1), 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.03.001>
- Cho, W. H., Ih, J. G., Katsumata, T., & Toi, T. (2018). Best practice for positioning sound absorbers at room surface. *Applied Acoustics*, 129, 306-315. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.08.015>
- Delfarah, M., & Wang, D. (2017). Features for Masking-Based Monaural Speech Separation in Reverberant Conditions. *IEEE/ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing*, 25(5), 1085-1094. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2017.2687829>
- Everest, F. A., & Shaw, N. A. (2001). Master handbook of acoustics, Fourth Edition. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(4), 1714-1715. <https://doi.org/10.1121/1.1398048>
- George, E. L. J., Goverts, S. T., Festen, J. M., & Houtgast, T. (2010). Measuring the effects of reverberation and noise on sentence intelligibility for hearing-impaired listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(6), 1429-1439. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0197\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0197))
- Ghilahare, A. K., & Pandey, M. (2017). Application of enhanced egg carton, gypsum board & sound diffuser for the purpose of acoustical treatment: an overview. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(8), 1190-1194. Retrieved from <https://www.irjet.net/archives/V4/i8/IRJET-V4I8213.pdf>
- International Organization for Standardization. (1997). *Acoustics – Sound absorbers for use in buildings – Rating of sound absorption* (ISO 11654:1997). 7 p.
- International Organization for Standardization. (2008). *Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms* (ISO 3382-2:2008). 17 p.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2003). *Pastatų vidaus ir išorės aplinkos apsauga nuo triukšmo* (STR 2.01.07:2003). *Valstybės žinios*, 2003-08-13, Nr. 79-3614.
- Mcneer, R. R., Bennett, C. L., Horn, D. B., & Dudaryk, R. (2017). Factors affecting acoustics and speech intelligibility in the operating room: Size matters. *Anesthesia and Analgesia*, 124(6), 1978-1985. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002118>
- Meissner, M. (2008). Influence of wall absorption on low-frequency dependence of reverberation time in room of irregular shape. *Applied Acoustics*, 69(7), 583-590. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.02.004>
- Morales, L., Leembruggen, G., Dance, S., & Shield, B. M. (2018). A revised speech spectrum for STI calculations. *Applied Acoustics*, 132, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.11.008>
- Neubauer, R., & Kostek, B. (2001). Prediction of the reverberation time in rectangular rooms with non-uniformly distributed sound absorption. *Archives of Acoustics*, 26(3), 183-201.
- Nijs, L., & Rychtarikova, M. (2011). Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. *Acta Acustica united with Acustica*, 97(1), 93-102. <https://doi.org/10.3813/AAA.918390>
- Nowoświat, A., & Olechowska, M. (2016). Fast estimation of speech transmission index using the reverberation time. *Applied Acoustics*, 102, 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.09.001>
- Queiroz de Sant'Ana, D., & Zannin, P. H. T. (2011). Acoustic evaluation of a contemporary church based on in situ measurements of reverberation time, definition, and computer-predicted speech transmission index. *Building and Environment*, 46(2), 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.08.015>
- Sabine, W. C., & Dwight, C. H. (1966). Collected Papers on acoustics. *American Journal of Physics*, 34(4), 370-371. <https://doi.org/10.1119/1.1972994>
- Schroeder, M. R. (1981). Modulation transfer functions: Definition and measurement. *Acustica*, 49(3), 179-182.
- Smardzewski, J., Kamiński, T., Dziurka, D., Mirski, R., Majewski, A., Flach, A., & Pilch, A. (2015). Sound absorption of wood-based materials. *Holzforschung*, 69(4), 431-439. <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0114>
- Sobolev, A. F. (2000). Wide-band sound-absorbing structures for aircraft engine ducts. *Acoustical Physics*, 46(4), 466-473. <https://doi.org/10.1134/1.29911>
- International Standard. (2005). *Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index* (IEC 60268-16).
- Yang, W., & Hodgson, M. (2007). Ceiling baffles and reflectors for controlling lecture-room sound for speech intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(6), 3517. <https://doi.org/10.1121/1.2730623>

EVALUATION OF THE IMPACT OF SOUND ABSORBING PANEL AREA ON REVERBERATION TIME IN A ROOM

T. Astrauskas, R. Grubliauskas

Summary

Reverberation time RT₆₀ in the room is characterised by the surface area of sound absorbing materials in the room. To reduce the reverberation time in resident and public building lightweight, perforated materials are often used. In this work the correlation between the surface area of sound absorbing panels and reverberation time was investigated. During the tests the surface area of sound absorbing panels was changed in order to find out if there is correlation between the variables studied. The results show that theoretical model is partially correct. Experimental tests showed that the reverberation time increased from 1.2 s (with all sound absorbing panels) to 2.25 s (without sound absorbing panels).

Keywords: reverberation time, sound absorption, sound absorbing materials, room acoustics, speech intelligibility index.