

## ELEKTRONINĖS ĮRANGOS KABELIŲ APVALKALO PANAUDOJIMO AIDĖJIMO TRUKMEI MAŽINTI TYRIMAI IR VERTINIMAS

Kristina Vitkutė<sup>1</sup>, Raimondas Grubliauskas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

<sup>2</sup>VGTU Aplinkos apsaugos institutas

El. paštas: <sup>1</sup>kristina.vitkute@stud.vgtu.lt; <sup>2</sup>raimondas.grubliauskas@vgtu.lt

**Anotacija.** Reverberacijos trukmė yra viena svarbiausių patalpos akustinių savybių. Ilgas reverberacijos laikas patalpose neigiamai veikia kalbos supratimą, trukdo susikaupti ir t. t. Sumažinus aidėjimo laiką ne tik pagerinama patalpos akustinės savybės, bet ir pagerinama žmogaus fizinė bei emocinė būsena.

Augant vartojimui ir atliekų kiekiams, išskyla atliekų tvarkymo problema. Mus supa elektros įrenginiai, kurių, nors ir ilgai naudojamų iki jiems tampa atlieka, kiekiai nesustoja augti. Ši medžiaga gaminama iš neatsinaujinančių gamtos išteklių, todėl pakartotinis jų panaudojimas ir perdirbimas tampa dar svarbesnis.

Tyrimo metu sukurtos skirtingų aukščių – 2 cm, 3 cm, 5 cm ir 10 cm konstrukcijos panaudojant dvigyslius (3,64×5,28 mm), trigyslius (6,42 mm) bei penkiagyslius (9,6 mm) tuščiaavidurius kabelius. Išmatuota reverberacijos trukmė mažo tūrio aidėjimo kameroje su skirtingomis konstrukcijomis. Nustatyta aidėjimo trukmės priklausomybė nuo konstrukcijai pagaminti naudojamų kabelių skersmens ir ilgio. Rezultatai parodė, kad 10 cm konstrukcija iš 6,42 mm tuščiaavidurių kabelių aukštuose dažniuose nuo 1000 Hz gali sumažinti aidėjimo laiką kameroje iki 48 %. Sukurtos konstrukcijos pagal garso sugerties koeficientus  $\alpha_s$  atitinka D/E garso sugerties klases.

**Reikšminiai žodžiai:** aidėjimo trukmė, elektroninės įrangos kabeliai, dažnis, aidėjimo kamera, atliekų panaudojimas.

### Įvadas

Aidėjimo trukmė yra pats svarbiausias parametras, apibūdinantis kambario akustinę kokybę. Šis parametras gali būti apibrėžiamas kaip garso nuslopimo po nutraukto garso laikas kambaryje arba laikas sukeltam impulsiniam garsui sustojus (Meran ir Shahriari, 2017).

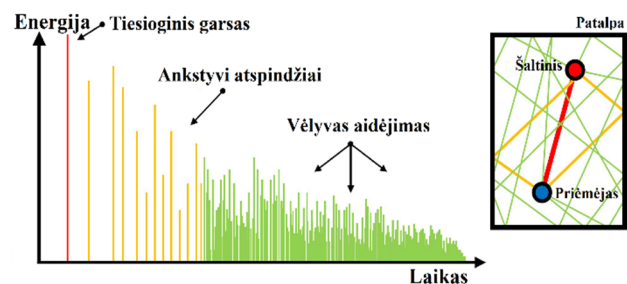
Aidėjimo trukmė išreiškiama sekundėmis, kadangi tai gana trumpas laiko tarpas (LST EN ISO 3382-2:2008, 2012). Šis parametras priklauso nuo patalpos paviršių ploto, tų paviršių sugerties bei patalpos tūrio (Stauskis, 2003).

Bendruoju atveju aidėjimo trukmė matuojama dėl kelių priežasčių: svarbiausios iš jų yra triukšmo šaltinių garso slėgio lygio, kalbos suprantamumo ir privatumo pojūčio tiesioginių priklausomybių nuo aidėjimo trukmės.

Garsas, kuris pasiekia klausytojo ausį, yra mišinys tiesioginio garso iš šaltinio ir atspindėto garso (1 paveikslas), kuris pasiekia ausį vėliau, persidengia su tiesioginiu garsu ir gali jį užmaskuoti. Dėl šios priežasties trumpesnė

aidėjimo trukmė sudaro aiškesnį signalą ir sąlygoja geresnį kalbos supratimą.

Kaip ir dėl triukšmo, dėl per ilgos aidėjimo trukmės fonologinis garsų supratimas tampa sudėtingesnis ir reikalauja daugiau žmogaus pastangų, todėl lieka mažiau laiko ir galimybių tolesniam garsų ar kalbos apdorojimui bei supratimui (Klatte, Lachmann ir Meis, 2010).



1 paveikslas. Patalpos energijos impulso atsako pavyzdys, įskaitant tiesioginį garsą, ankstyvą atspindį ir vėlyvą aidėjimą (Pelzer, Aspöck, Schröder ir Vorländer, 2014)

Aidėjimo trukmė taip pat veikia žmogaus dėmesį ir blaškymąsi. Staigus triukšmingas garsas, pavyzdžiui, gali atkreipti žmogaus dėmesį, nors jis stengiasi sutelkti savo dėmesį į ką nors kita. Nors daugelio vykdomų užduočių atžvilgiu šis aidėjimo poveikis yra nereikšmingas – tik trumpas darbo pertraukimas kitų užduočių atžvilgiu, bet jo yra nutraukiama minčių eilė ar elgesio seka, kurią sunku atkurti (Kjellberg, 2004).

Be to, aidintis garsas gali sumažinti dėmesingų atsakų / reakcijų tikimybę, padarydamas garso pradžių ir pabaigą mažiau skirtingas. Tokiu būdu girdimas stimulus mažiau išsiskiria iš fono (Kjellberg, 2004).

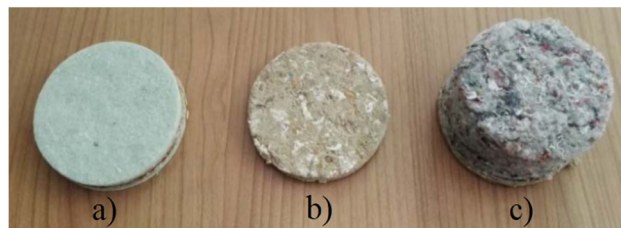
Visiškai garsą sugeriančiose patalpose (angl. *anechoic rooms*), kur aidėjimo trukmė trumpa, pastebimas keistas ir nepatogus žmonėms jausmas, nes dėl akustinio grįžtamojo ryšio nebuvimo kalbėtojams sunku stebėti savo balsus (Kjellberg, 2004). Subjektyvi aidėjimo svarba buvo įrodyta virtualios aplinkos tyrimuose imituojant aidėjimo charakteristikas ir be jų. Aidėjimas prideda buvimo jausmą virtualioje aplinkoje (Vastfjall, Larsson ir Kleiner, 2002). Taigi, aidėjimas gali būti svarbus ir žmonių komfortui, ir emocinei būsenai.

Anksčiau aptarti tyrimai parodo, kad aidėjimo trukmė nebūtinai turi būti sumažinta iki 0, bet turi būti optimizuota klasėse, auditorijose ir kitose patalpose, kur kalbos supratimas ir komfortas žmogui yra labai svarbūs aspektai.

Dėl sparčiai didėjančių atliekų kiekių pasaulyje ir mažėjančių neatsinaujinančių gamtos išteklių buvo pradėta ieškoti atliekų panaudojimo būdų, vienas iš jų – aidėjimo trukmei mažinti. Argentinoje buvo tiriamos kiaušinių dėklo iš perdirbto popieriaus garso sugerties savybės. Kaip ir daugelis kitų pakuočių, po naudojimo dėklai tampa atlieka, o jų panaudojimu akustikos srityje susidomėta todėl, kad medžiaga yra lengva, pigi ir nelygios formos – šios savybės būdingos garso sugerties medžiagoms. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad kiaušinių dėklai turi gerą sugerties koeficientą – nuo 2000 Hz (0,69). O iki 2000 Hz kiaušinių dėklų sugertis silpna: 1000 Hz –  $\alpha = 0,48$ ; 500 Hz –  $\alpha = 0,42$ ; 250 Hz –  $\alpha = 0,30$  ir esant 125 Hz –  $\alpha = 0,04$  (Quintero, 2010).

Italijoje atlikto tyrimo metu iš atliekų buvo pagamintos ir tiriamos 3 rūšių plokštės: pirmoji sudaryta iš popieriaus ir tekstilės pluoštų, sujungtų klizais, kurių bendras storis yra 18 mm. Antroji plokštė sudaryta tik iš popieriaus atliekų sluoksnio, sukljuoto ir supresuoto (10 mm storio); paskutinioji buvo 50 mm storio plokštė, pagaminta iš dviejų sluoksnių: vieno – kljuotos vilnos pluošto sluoksnio (45 mm storio) ir vieno – supresuoto ir sukljuoto (5 mm storio) popieriaus atliekų sluoksnio (2 paveikslas).

Tyrimas parodė, kad geriausią vidutinį garso sugerties koeficientą (0,59) turėjo didžiausio storio (50 mm) plokštė. Šiek tiek mažesnę vidutinį garso sugerties koeficientą (0,39) turėjo vidutinio storio (18 mm) plokštė, o žemiausią (0,32) – ploniausia (10 mm) popieriaus atliekų plokštė. Tačiau gautus rezultatus nulėmė ne tik skirtingas plokščių storis, bet ir vidinė plokščių struktūra (Buratti, Belloni, Lascaro, Lopez ir Ricciardi, 2016).



2 paveikslas. Cilindrinės plokštės: a) popieriaus atliekų ir tekstilės (18 mm); b) popieriaus atliekų (10 mm); c) vilnos ir popieriaus atliekų (50 mm) (Buratti ir kt., 2016)

Siekiant rasti medžiagų ir atliekų derinį, kuris būtų efektyvus sugeriant garsą ir būtų panaudotos įvairesnės atliekos, pasaulyje taip pat buvo tiriamos ir įvairių atliekų kombinacijų garso sugerties savybės (Soto ir kt., 2016). Vienas iš tokių tyrimų yra garso sugerties biopolimeriniais putplasčiais, užpildytais medžio dulkėmis ir padangų gumos atliekomis, tyrimas. Tyrimo metu nustatyta, kad garso sugerties koeficientas skirtinguose dažniuose yra didžiausias ( $\alpha = 0,963$ ) polimerinio putplasčio su didžiausiu kiekiu atliekų mišinio (10 %). Šiuo atveju didžiausias atliekų užpildas buvo su mažiausiomis poromis, tačiau turėjo daugiausia susijungusių porų, dėl to ši medžiaga pasižymėjo geriausiu garso sugėrimu (Rus ir kt., 2017).

Nors anksčiau aprašyti kiaušinių dėklai neturi labai gerų garso sugerties savybių (siekia iki 2 kHz), tačiau buvo atliktas tyrimas, kurio metu kiaušinių dėklų garso sugertis buvo pagerinta, panaudojus perdirbtas medžiagas: ryžių šiaudų popierių ir tekstilės atliekas. Tyrimo metu buvo pagaminta plokštė, iš kurios, panaudojus minėtas tekstilės atliekas ir smulkintą šiaudų popierių, buvo suformuoti sferos formos kamuoliai, kurie buvo sudėlioti į perdirbto popieriaus kiaušinių dėklus (3 paveikslas). Tuomet šie dėklai buvo uždengti kitais dėklais ir tiriami.

Tekstilės ir ryžių popieriaus atliekų proporcija kiaušinių dėkle buvo 1:1. Nustatyta, kad kiaušinių dėklų su tekstilės ir ryžių popieriaus atliekomis vidutinis garso sugerties koeficientas lygus 0,59, o maksimalus garso sugerties koeficientas – 0,77 500 Hz dažnyje (Satwiko ir kt., 2017).

Nors atliekų panaudojimas akustikos srityje yra plačiai taikomas visame pasaulyje tiek kaip papildas, tiek kaip

pagrindinė žaliava, elektroninės įrangos kabelių izoliacijos atliekos dar nebuvo tirtos aidėjimo trukmei mažinti.



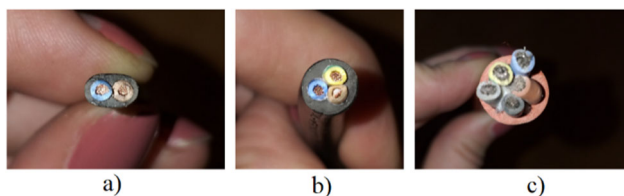
3 paveikslas. Plokštė, pagaminta iš kiaušinių dėklo ir tekstilės bei ryžių popieriaus atliekų sferų (Satwiko, Gharata, Setyabudi ir Suhedi, 2017)

Šiuo metu elektros ir elektroninės įrangos atliekos laikomos vienu iš sparčiausiai augančių atliekų srautų Europos Sąjungoje (iš jų ir Lietuvoje), kasmet šios atliekos auga 3–5 % (Eurostat..., 2017). Kartu su elektroninės įrangos atliekomis daugėja ir kabelių apvalkalo atliekų. Apvalkalo medžiaga nėra lengvai yrantį aplinkoje, o deginama išskleidžia pavojingus teršalus, todėl nei jos deginimas, nei šalinimas sąvartynuose nėra patrauklūs šių atliekų tvarkymo būdai. Dėl išvardytų priežasčių šiame darbe tiriamas kabelių apvalkalų panaudojimas aidėjimo trukmei mažinti.

Darbo tikslas – ištirti konstrukciją, skirtą aidėjimo trukmei mažinti, panaudojant elektroninės įrangos kabelių atliekų izoliaciją.

## Metodika

Šio darbo tyrimo objektai yra aidėjimo trukmę mažinančios konstrukcijos, pagamintos naudojant elektros įrenginių kabelių izoliacinių apvalkalų atliekas. Tyrimo metu naudojamos H05VV-F, H03VVH2-F, SIHF-J kabelių atliekos (4 paveikslas).

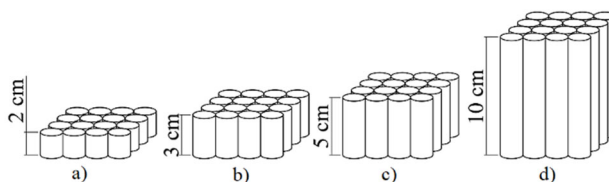


4 paveikslas. Tyrimui naudojamų skersai perpjautų kabelių vaizdas: a) dvigyslis H03VVH2-F; b) trigyslis H05VV-F; c) penkiagyslis SIHF-J

Iš 4 paveikslė pavaizduotų kabelių atliekų, perpjovus juos skersai, yra pašalinamos gyslos – metalai (varis) su izoliaciniais apvalkalais. Tyrimo metu naudojamas tik likęs tuščiaviduris kabelio apvalkalas. Tyrimas atliekamas 2 etapais, gaminant aidėjimo trukmę mažinančias konstrukcijas, kurių plotas – 0,053 m<sup>2</sup>.

1-ajame etape gaminamos 10 cm ilgio konstrukcijos, panaudojant vienodo aukščio skirtingo skersmens ir skirtingų storių tuščiavidurius kabelių apvalkalus. 1-ajame etape tiriama aidėjimo trukmės priklausomybė nuo tuščiavidurių kabelių skersmens. Į tuščiavidurių kabelių apvalkalų storį darbe nėra atsižvelgiama, kadangi storiai skiriasi tik dešimtosiomis milimetro vertėmis.

2-ajame etape gaminamos skirtingų aukščių konstrukcijos, panaudojant skirtingo skersmens tuščiavidurius kabelius (5 paveikslas).

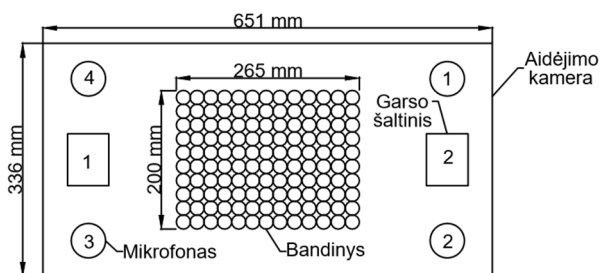


5 paveikslas. Konstrukcijų su skirtingų aukščių tuščiaviduriais kabeliais schema: a) 2 cm; b) 3 cm; c) 5 cm; d) 10 cm

Kabelių skersmuo nesiskiria nuo 1-ajame tyrimo etape naudotų kabelių skersmens dydžių. Šiame etape tiriama aidėjimo trukmės priklausomybė nuo tuščiavidurių kabelių aukščio.

Tyrimas atliekamas mažo tūrio aidėjimo kameroje, kuri sudaryta iš gerai garsą atspindinčios medžiagos – organinio stiklo. Aidėjimo kamera yra stačiakampio gretasienio formos, vidinis jos tūris – 0,0768 m<sup>3</sup>. Anot mokslininkų K. Malaričo ir K. Košutičo (2016), tyrusių mažo tūrio aidėjimo kameras, dėl didelio žemo dažnio bangų ilgio kameroje, kurių tūris – ≤0,25 m<sup>3</sup>, reprezentatyvūs duomenys gaunami tik nuo 1000 Hz.

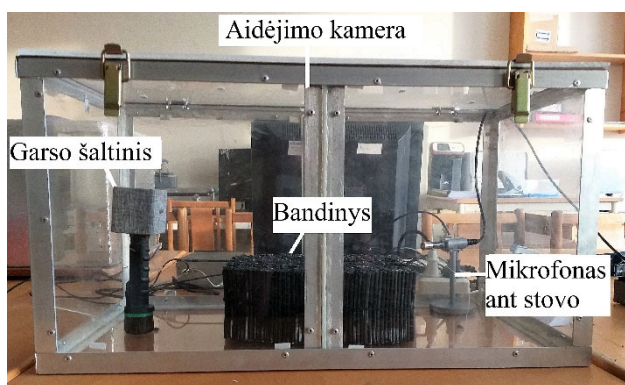
Aidėjimo trukmės laikas patalpoje matuojamas pertraukiamo (kitais būdais) triukšmo metodu. Aidėjimo kameroje garso šaltinis – garsiakalbis, kuris paleidus baltą triukšmą sukelia ~60 dB garso lygį kameroje. Garso šaltiniui parenkamos dvi pozicijos dviejuose aidėjimo kameros galuose (Prato, Casassa ir Schiavi, 2016). Kiekvienoje garso šaltinio pozicijoje matuojama 4, o mikrofono pozicijose – po 3 kartus (6 paveikslas).



6 paveikslas. Tyrimo metu naudojamos pozicijos: 1, 2, 3, 4 – mikrofono pozicijos; 1, 2 – garso šaltinio pozicijos

Atsižvelgiant į tai, kad garsiakalbio aukštis yra mažesnis (6,5 cm) nei matuojamos aukščiausios konstrukcijos (10 cm), garsiakalbis statomas per aidėjimo kameros aukščio vidurį naudojant 14 cm stovą (7 paveikslas).

Garso matavimai atliekami preciziniu garso lygio analizatoriumi „Bruel&Kjaer 2270“. Temperatūros ir santykinio drėgnumo vertės išmatuojamos prietaisu *Metrel Poly MI 6401*.



7 paveikslas. Aidėjimo trukmės tyrimo vaizdas iš šono

Gavus tyrimų rezultatus kameros aidėjimo trukmė kiekvienoje dažnių juostoje išreiškiama visų aidėjimo trukmės matavimų, atliktų šioje dažnių juostoje, aritmetiniu vidurkiu.

Tuomet bandinių garso sugerties koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

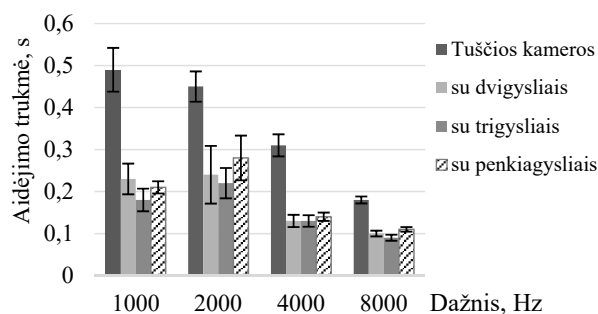
$$\alpha_S = \frac{A_T}{S}, \quad (1)$$

čia:  $A_T$  – lygiavertis bandinio garso sugerties plotas,  $m^2$ ;  
 $S$  – bandiniu padengtas plotas,  $m^2$ .

## Rezultatai

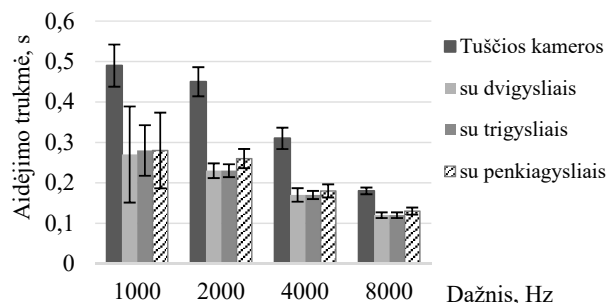
1-ajame etape išmatuotos skirtingų skersmenų tuščiavidurių kabelių konstrukcijų aidėjimo trukmės. Rezultatai pateikiami 7–10 paveiksluose.

10 cm aukščio konstrukcijų rezultatai parodė, kad visuose dažniuose aidėjimo trukmė su konstrukcijomis kameroje yra mažesnė, nei be konstrukcijų. Lyginant konstrukcijas tarpusavyje matoma, kad su konstrukcija iš vidutinio 6,42 mm (trigyslių) skersmens tuščiavidurių kabelių aidėjimo trukmė yra mažesnė, nei su 3,64×5,28 mm (dvigyslių) ir 9,6 mm (penkiagyslių) kabelių skersmens konstrukcijomis (8 paveikslas).



8 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo skersmens, bet vienodo 10 cm aukščio konstrukcijomis

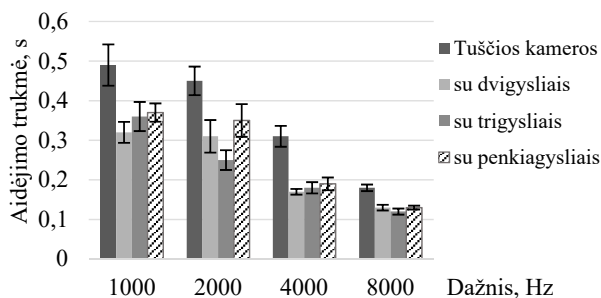
Tyrimo rezultatai su 5 cm aukščio konstrukcijomis parodė, kad aidėjimo trukmė su bandiniais kameroje yra mažesnė, nei be jų (9 paveikslas).



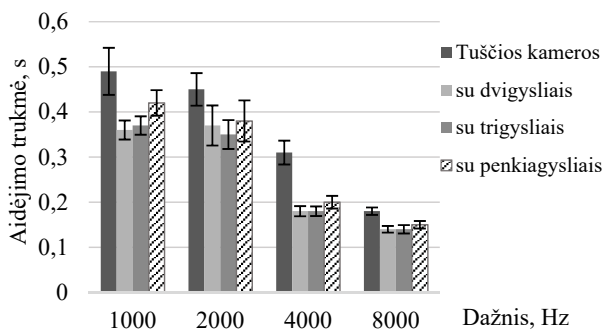
9 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo skersmens, bet vienodo 5 cm aukščio konstrukcijomis

Aidėjimo trukmė 8 paveiksle su 9,6 mm skersmens kabelių konstrukcijomis yra didesnė nei su 3,64×5,28 mm ir 6,42 mm kabelių skersmens konstrukcijomis, išskyrus 1000 Hz dažnyje, kur trigyslių ir dvigyslių kabelių konstrukcijų aidėjimo trukmė vienoda.

Iš 3 cm aukščio konstrukcijų rezultatų matyti, kad visuose dažniuose kameroje su didžiausio skersmens kabelių konstrukcijomis aidėjimo trukmė yra ilgesnė už trukmę naudojant mažesnių skersmenų kabelių konstrukcijas (10 paveikslas).



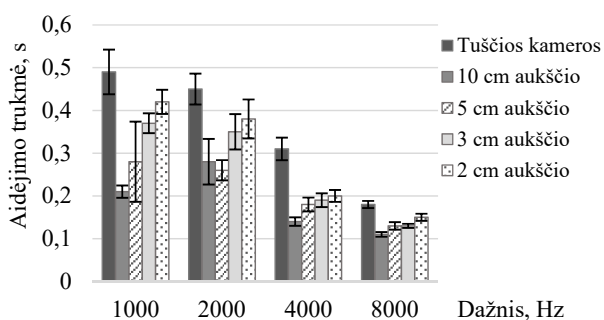
10 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo skersmens, bet vienodo 3 cm aukščio konstrukcijomis



11 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo skersmens, bet vienodo 2 cm aukščio konstrukcijomis

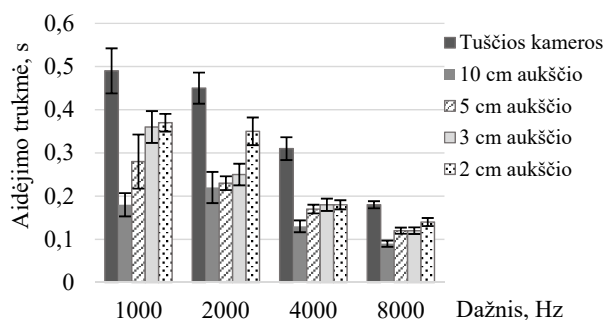
Rezultatai su 2 cm konstrukcijomis (11 paveikslas) neišsiskyrė ir parodė, kad aidėjimo trukmė yra sumažinama visuose dažniuose, bet labiau su dvigyslių ir trigyslių kabelių konstrukcijomis nei su penkiagyslių.

2-ojo etapo, tiriant kabelių aukščio priklausomybę nuo aidėjimo trukmės, rezultatai pateikti 12–14 paveiksluose.



12 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo aukščio, 9,6 mm skersmens kabelių konstrukcijomis

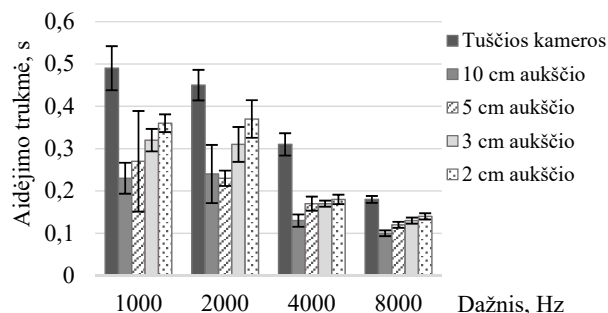
Iš 12 paveiksle pateiktų rezultatų matoma, kad visų aukščių konstrukcijos sumažino aidėjimo trukmę 1–8 kHz dažniuose. 2 cm aukščio konstrukcijos visuose tirtuose dažniuose mažiausiai sutrumpino aidėjimo trukmę, o 10 cm – daugiausiai.



13 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo aukščio, 6,42 mm trigyslių kabelių konstrukcijomis

Trigyslių vidutinio skersmens kabelių konstrukcijų rezultatai parodė, kad su 10 cm aukščio konstrukcija aidėjimo laikas trumpiausias. Taip pat pastebimas nuoseklus aidėjimo trukmės ilgėjimas kameroje mažinant konstrukcijos aukštį (13 paveikslas).

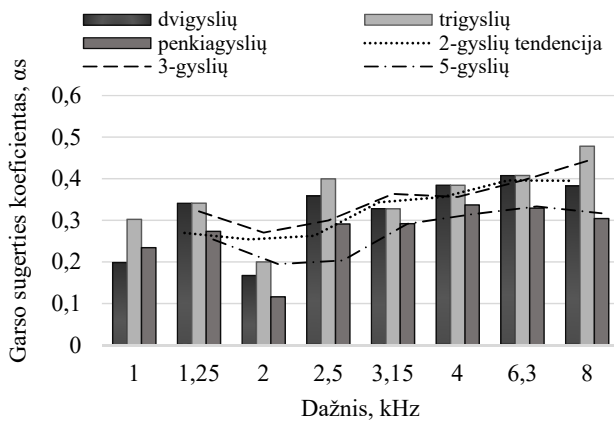
14 paveiksle pateikti dvigyslių skirtingų aukščių kabelių rezultatai nesiskyrė nuo prieš tai 12–13 paveiksluose aptartų. Geriausiai visais tirtais atvejais aidėjimo trukmė buvo sumažinta kameroje, esant 10 cm aukščio konstrukcijoms, prasčiausiai – 2 cm. Gana aiškiai pastebimas aidėjimo trukmės mažėjimas didėjant konstrukcijos aukščiui.



14 paveikslas. Aidėjimo trukmė kameroje su skirtingo aukščio, 3,64×5,28 mm dvigyslių kabelių konstrukcijomis

Kadangi garsą sugeriančios medžiagos vertinamos pagal jų garso sugerties koeficientą  $\alpha_S$ , efektyviausio aukščio – 10 cm konstrukcijoms su skirtingais kabelių skersmenimis buvo atlikti garso sugerties koeficiento skaičiavimai. Rezultatai pateikiami 14 paveiksle.

Iš 15 paveiksle pateiktų rezultatų matyti, kad 4 dažniuose: 1; 2; 2,5 ir 8 kHz aukščiausias garso sugerties koeficientas buvo trigyslių kabelių konstrukcijos (iki 0,48). Likusiuose 4 dažniuose (1,25; 3,15; 4 ir 6,3 kHz) dvigyslių ir trigyslių kabelių skersmens konstrukcijų efektyvumai buvo vienodi. Visuose dažniuose mažiausi garso sugerties koeficientai buvo penkiagyslių, didžiausio skersmens



15 paveikslas. 10 cm aukščio konstrukcijų garso sugerties koeficientai

kabelių konstrukcijose. Ties 2 kHz dažniu pastebimas garso sugerties koeficientų sumažėjimas. Kadangi tyrimai buvo atliekami mažo tūrio aidėjimo kameroje, daroma prielaida, kad 2 kHz dažnis galėjo būti kritinis, dėl to gauti tokie rezultatai.

Pagal LST EN ISO 11654 standartą „Akustika. Garsą sugeriantys statybiniai gaminiai. Garso sugerties įvertinimas“, garsą sugeriančios medžiagos klasifikuojamos ir skirstomos į klases pagal jų gebą sugerti garsą. Remiantis standarte pateikta klasifikacija, galima teigti, kad aukštuose dažniuose (nuo 2,5 kHz) 10 cm (efektyviausio aukščio) visų skersmenų kabelių konstrukcijos yra priskiriamos D klasei pagal savo sugerties koeficientų reikšmes:

– 3,64×5,28 mm skersmens  $\alpha_s = 0,33-0,41$ ;

– 6,42 mm skersmens  $\alpha_s = 0,33-0,48$ ;

– 9,6 mm skersmens  $\alpha_s = 0,29-0,34$ .

Rinkoje yra geriau garsą sugeriančių medžiagų: akmens vata ( $\alpha_s = 1,0$ ), stiklo pluoštas ( $\alpha_s = 0,97$ ) ir pan., tačiau naudingiausios iširtos konstrukcijos sugerties koeficientai artimi kitoms konstrukcijoms, sukurtoms iš atliekų, aprašytų įvade: kiaušinių dėklų ( $\alpha_s = 0,48-0,69$ ) ir kombinuotos kiaušinių dėklo, tekstilės bei ryžių popieriaus plokštės ( $\alpha_s = 0,59-0,77$ ). Iširta konstrukcija atsižvelgiant į neaukštus garso sugerties koeficientus visgi yra tinkama aidėjimo trukmei patalpose mažinti aukštuose dažniuose nuo 1000 Hz.

Aidėjimo trukmės optimizavimas patalpose yra svarbus dėl jos neigiamo poveikio žmonėms. O dėl sparčiai didėjančių atliekų kiekių pasaulyje buvo pradėta tirti atliekų panaudojimą aidėjimo trukmei mažinti. Pasirinktos tirti atliekos – tuščiaviduriai kabeliai, kadangi elektros ir elektroninės įrangos atliekos laikomos vienu iš sparčiausiai augančių atliekų srautų. Iš kabelių atliekų pašalinus varį, ši, palyginti pigi, medžiaga gali būti panaudota reverberacijos laikui mažinti, kur tai yra reikalinga.

Ištirus skirtingų aukščių konstrukcijas panaudojant skirtingų skersmenų kabelius paaiškėjo, kad visuose matavimo rezultatuose pagamintos konstrukcijos sumažino aidėjimo trukmę. Kadangi kabelių apvalkalo medžiaga PVC ir silikonas nėra garsą sugeriančios medžiagos ir labiau priskiriamos prie atspindinčių, aidėjimo trukmės sumažėjimą lėmė kabelių konkretus išdėstymas gaminant konstrukcijas ir tai, kad jie yra tuščiaviduriai.

Tiriant 10 cm aukščio konstrukcijas mažiausi garso sugerties koeficientai yra 9,6 mm skersmens penkiagyslių kabelių konstrukcijų, tuo tarpu didžiausi – 6,42 mm skersmens trigyslių kabelių. Tiriant atliekų panaudojimą aidėjimo trukmei mažinti kitų autorių (Quintero, 2010; Satwiko ir kt., 2017) konstrukcijos turi panašius arba nežymiai aukštesnius garso sugerties koeficientus. Taigi, nors rinkoje ir mokslinėje literatūroje yra geriau garsą sugeriančių medžiagų, bet šiam tyrimui pagamintos konstrukcijos taip pat yra tinkamos aidėjimo trukmei patalpose mažinti dažniuose nuo 1000 Hz.

## Išvados

1. Didžiausio 9,6 mm skersmens kabelių konstrukcijos mažiausiai sutrumpino aidėjimo laiką, o mažėjant kabelių skersmeniui aidėjimo trukmė irgi sumažėdavo, todėl priimama išvada, kad aidėjimo trukmė tiesiogiai priklauso nuo konstrukcijai pagaminti naudojamų kabelių skersmens.
2. Rezultatuose matomas nuoseklus aidėjimo trukmės mažėjimas didinant konstrukcijos aukštį, o tai reiškia, kad aidėjimo trukmę ir konstrukcijos aukštį sieja atvirkštinė priklausomybė.
3. Tiriant efektyviausias 10 cm aukščio konstrukcijas, didžiausias garso sugerties koeficientas (0,48), buvo pasiektas 8 kHz dažnyje konstrukcijos iš vidutinio (6,42 mm) skersmens kabelių.
4. Tyrimas parodė, kad tirtosios konstrukcijos atitinka D/E garso sugerties klases.

## Literatūra

- Buratti, C., Belloni, E., Lascaro, E., Lopez, G. A., & Ricciardi, P. (2016). Sustainable panels with recycled materials for building applications: environmental and acoustic characterization. *Energy Procedia*, 101, 972-979. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.123>
- Eurostat. (2017). *Waste statistics – electrical and electronic equipment*. Luxembourg. Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_statistics\\_-\\_electrical\\_and\\_electronic\\_equipment#Context](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment#Context)
- Kjellberg, A. (2004). Effects of reverberation time on the cognitive load in speech communication: Theoretical considerations, *Noise & Health*, 7(25), 11-21.

- Klatte, M., Lachmann, Th., & Meis, M. (2010). Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise & Health*, 12(49), 270-282. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.70506>
- Lietuvos Standartizacijos departamentas. (1998). *Akustika. Garsų sugeriantys statybos gaminiai. Garso sugerties įvertinimas* (LST EN ISO 11654:1997). Vilnius, 16 p.
- Lietuvos Standartizacijos departamentas. (2012). *Akustika. Patalpų akustinių parametrų matavimas. 2 dalis. Įprastinių patalpų aidėjimo trukmė* (LST EN ISO 3382-2:2008) Vilnius, 18 p.
- Malarić, K., & Košutić, K. (2016). Design and construction of a small reverberation chamber. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, 7(2), 47-51.
- Meran, P. A., & Shahriari, M. (2017). Measurement of the reverberation time and sound level for improvement acoustic condition in classrooms – A case study. *Selected contributions from the International Symposium Occupational Safety and Hygiene*, 10-11 April 2017, Guimarães, Portugal.
- Pelzer, S., Aspöck, L., Schröder, D., & Vorländer, M. (2014). Integrating real-time room acoustics simulations into a CAD modeling software to enhance the architectural design process. *Buildings*, 4(2), 113-138. <https://doi.org/10.3390/buildings4020113>
- Prato, A., Casassa, F., & Schiavi, A. (2016). Reverberation time measurements in non-diffuse acoustic field by the modal reverberation time, *Applied Acoustics*, 110, 160-169.
- Quintero, R. A. (2010, June). Measurement of the sound-absorption coefficient on egg cartons using the Tone Burst Method. In *Proceedings of the 11<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Recent Advances in Acoustics & Music*. Iasi, Romania.
- Rus, M. Z. A., Azahari, M. S. M., Kormin, S., Bong Soon, L., Zaliran, T. M., & Ahras Sadrina, M. F. L. (2017). Hybrid waste filler filled bio-polymer foam composites for sound absorbent materials. *AIP Conference Proceedings*, 1877(1), 060004. <https://doi.org/10.1063/1.4999883>
- Satwiko, P., Gharata, D. V., Setyabudi, H., & Suhedi, F. (2017). Enhancing egg cartons' sound absorption coefficient with recycled materials. *Building Acoustics*, 24(2), 115-131. <https://doi.org/10.1177/1351010X17709986>
- Soto, G., Castro, A., Vechiatti, N., Iasi, F., Armas, A., Marcovich, N. E., & Mosiewicki, M. A. (2016). Biobased porous acoustical absorbers made from polyurethane and waste tire particles. *Polymer Testing*, 57, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.11.010>
- Stauskis, J. V. (2003). The effect of location of sound-absorbing materials in calculating the reverberation time of the hall by different formulas. *Journal of Civil Engineering and Management*, 9(2), 83-87. <https://doi.org/10.3846/13923730.2003.10531308>
- Vastfjäll, D., Larsson, P., & Kleiner, M. (2002). Emotion and auditory virtual environments: affect-based judgments of music reproduced with virtual reverberation times. *CyberPsychology and Behavior*, 5(1), 19-32. <https://doi.org/10.1089/109493102753685854>

## INVESTIGATIONS AND EVALUATION OF ELECTRONIC EQUIPMENT CABLES ISOLATOR USAGE FOR REVERBERATION TIME REDUCTION

K. Vitkutė, R. Grubliauskas

### Summary

The duration of reverberation is one of the most important acoustic properties of the room. Reducing the reverberation time improves language understanding, the physical and emotional state of the person. We are surrounded by electrical appliances, which waste volumes do not stop growing. They are made from non-renewable natural resources, making reuse and recycling more important. During the study, different heights of 2 cm, 3 cm, 5 cm and 10 cm constructions were created using double (3.64×5.28 mm), triple (6.42 mm) and five-core (9.6 mm) hollow cables. The dependence of the reverberation time on the diameter and length of the cables used in the construction was determined in the reverberation chamber. The results showed that 10 cm construction of 6.42 mm hollow cables at high frequencies from 1000 Hz can reduce the reverberation time in the chamber by up to 48%. Made constructions according to sound absorption coefficients  $\alpha_S$  correspond to D/E sound absorption classes.

**Keywords:** reverberation time, electronic equipment cables, frequency, reverberation chamber, reuse of waste.