

RIŠIKLIO ĮTAKOS PADANGŲ TEKSTILĖS PLUOŠTO KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ GARSO SUGERČIAI TYRIMAS IR VERTINIMAS

Robert RUŽICKIJ*, Raimondas GRUBLIAUSKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva
*El. paštas robert.ruzickij@vilniustech.lt

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Vykdamat veiklą didelėse patalpose dažnu atveju susiduriama su nepakankamu akustiniu komfortu. Įvairūs sprendiniai yra taikomi, siekiant pagerinti akustines sąlygas. Pakabinamos lubos ir mineralinių vatų plokštės yra vieni iš būdingiausių sprendinių, kaip galima pagerinti patalpų akustinį komfortą. Tačiau, gaminant tokias plokštes, yra naudojami gamtiniai išteklių ir eikvojami dideli energijos kiekiai. Padangų tekstilės pluoštas – tai atlieka, kuri gaunama perdirbant nebetinkamas naudoti padangas. Kartu su rišamąja medžiaga būtų sukurta kompozitinė garsą sugerianti plokštė, kuri būtų mažiau taršesnė alternatyva plačiai naudojamoms mineralinėms vatoms. Šio tyrimo tikslas yra iširti, kokią įtaką akustinėms savybėms daro didėjantis rišamosios medžiagos kiekis kompozite. Garso sugerties koeficiento nustatymo metodas paremtas standartiniu metodu, aprašytu ISO 10534-2 standarte. Tyrimo rezultatai parodė, kad, didėjant rišamosios medžiagos kiekiui kompozite nuo 10 iki 50 %, garso sugertis visame spektre mažėja vidutiniškai nuo 4 iki 30 % (kuo didesnis rišiklio kiekis, tuo labiau mažėjo garso sugertis). Gauti rezultatai rodo, kad rišiklio kiekis kompozite lemia kompozitinės garsą sugeriančios plokštės garso sugerties gebą.

Reikšminiai žodžiai: padangų tekstilės atliekos, kompozitinė garsą sugerianti plokštė, antrinis panaudojimas, garso sugerties koeficientas.

1. Įvadas

Projektuodami naujus specialios paskirties pastatus, projektuotojai turi atsižvelgti į daugybę reikalavimų. Vienas tokių – akustinis komfortas patalpose. Patalpos turi būti suprojektuotos taip, kad nebūtų girdimas triukšmas, sklindantis iš gretimų patalpų, taip pat turi būti užtikrinta gera garso sugertis patalpoje, kurioje vyksta kalbos perdavimas, t. y. kur yra skaitomos paskaitos, vyksta svarbūs pranešimai. Perduodamos kalbos suprantamumas tiesiogiai susijęs su aidėjimo trukme, kurią galima reguliuoti pasitelkiant garsą sugeriančias medžiagas (Kawata et al., 2023).

Siekiant suvaldyti aidėjimo trukmę patalpose, dažnu atveju yra diegiamos pakabinamos lubos arba kabinamos mineralinių vatų plokštės (Laba et al., 2020; Olechowska et al., 2018). Taip pat kaip šiuolaikinis modernus sprendinys yra taikomos perforuotos plokštės su vatos užpildu, kurios įrengiamos ant patalpos sienų (Yuvaraj & Jeyanthi, 2020). Pritaikius tokius projektinius sprendinius patalpose, aidėjimo trukmė vidutiniškai sumažėja

nuo 0,08 iki 1,33 sekundžių (Ene & Ctalina, 2021). Tačiau tokių plokščių ir vatų gamyba labai prisideda prie aplinkos taršos, nes šių produktų gamybai naudojamos pirminės žaliavos, kurių gamyba yra tarši ir yra paveikiama gamtinis kraštovaizdis bei plokščių gamybos metu eikvojami dideli energijos kiekiai (Mohamad et al., 2022; Yang et al., 2020).

Mokslininkai visame pasaulyje ieško naujų medžiagų, kurios būtų pritaikytos garso sugerčiai panaudoti. Dažnai garsą sugeriančių plokščių gamybai naudojamos natūralios kilmės medžiagos tokios kaip kokosų, cukranendrių, kanapių, džiuo pluoštai. Tokių kompozitinių garsą sugeriančių plokščių garso sugerties koeficientas kinta nuo 0,40 iki 0,98 (esant 1000 Hz), šie rezultatai parodo šių medžiagų panaudojimo potencialą (Chin Vui Sheng et al., 2022; Pan et al., 2024; Su et al., 2022). Tačiau kuriant naujas akustines medžiagas naudojamos ne tik natūralios kilmės medžiagos, bet ir įvairios atliekos, kurioms siekiama suteikti antrinį panaudojimą. Vieni iš pagrindinių pavyzdžių yra popieriaus gamybos dumblas, tekstilės atliekos (perdirbant senus drabužius), plastiko

atliekos bei nebetinkamų naudoti padangų tekstilės pluoštas (Liuzzi et al., 2023; Ružickij & Grubliauskas, 2023; Salino & Catai, 2023; Vėjelis et al., 2023). Pasitaroji medžiaga mažai tirta, tačiau jos potencialas yra akivaizdus.

Kuriant kompozitines garsą sugeriančias plokštes, pagrindinis dėmesys skiriamas medžiagos ir rišiklio santykiui. Nuo šio parametro priklauso tiek kompozitinės plokštės akustinės savybės, tiek medžiagos mechaninės savybės (Ehsan Samaei et al., 2021; Gomez et al., 2023). Esant nepakankamam rišiklio kiekiui, plokštė bus nestabili, lengvai iširs, tačiau, kai rišiklio kiekis bus per didelis, plokštė bus per standi, todėl itin sumažės garso sugertis (Tie et al., 2020). Taip pat, renkantis rišamąją medžiagą, kiekviena jų skiriasi savo fizikinėmis savybėmis, kai kurios medžiagos yra mažiau klampios, tuomet medžiaga gali labiau padengti pluošto daleles ir geriau surišti tarpusavyje, o kai rišamoji medžiaga pasižymi dideliu klampumu, jos pasiskirstymas medžiagoje gali būti prastesnis, todėl suprastės ir mechaninės plokštės savybės (Xu et al., 2022).

Yra žinoma, kad pluošto ir rišiklio santykis yra pagrindinis kompozitinių garsą sugeriančių medžiagų parametras, todėl svarbu įvertinti, kaip kis garso sugertis, kai keisis rišiklio kiekis kompozitinėje plokštėje.

Tyrimo tikslas – ištirti, kokią įtaką akustinėms savybėms daro didėjantis rišamosios medžiagos kiekis kompozite.

2. Tyrimų metodai ir medžiagos

2.1. Mėginių paruošimo metodika

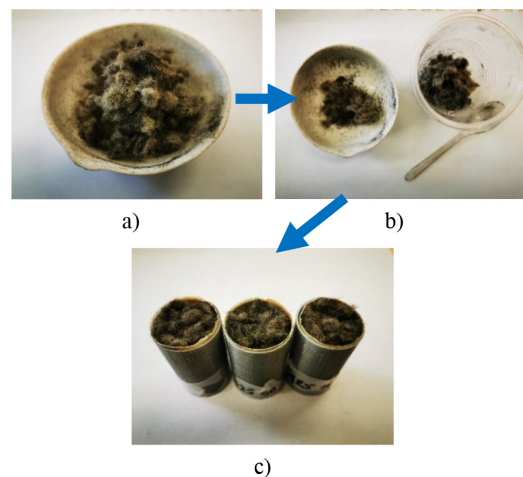
Šiame darbe buvo tirtos kompozitinės garsą sugeriančios plokštės (1 pav.), kurios buvo pagamintos panaudojant nebetinkamų naudoti padangų tekstilės pluoštą (toliau – PTP) bei poliuretano dervos rišamąją medžiagą. Padangų tekstilės pluoštas yra išgaunamas padangų perdirbimo metu, atskiriant padangos komponentus – gumą, metalinį ir tekstilės kordus.



1 paveikslas. Kompozitinės garsą sugeriančios plokštės iš padangų tekstilės pluošto ir poliuretano dervos (PU) rišiklio

Padangų tekstilės pluoštas, gautas iš padangų perdirbimo gamyklos, pirmiausia turi būti išdžiovintas, siekiant pašalinti drėgmę, susikaupusią sandėliavimo metu. Padangų tekstilė džiovinama 3 dienas 60 °C temperatūroje. Pagrindiniai nustatyti PTP fizikiniai parametrai: piltinis tankis – $40,1 \pm 2,3 \text{ kg/m}^3$; plaušelių ilgis – $800 \div 2000 \text{ }\mu\text{m}$, plaušelių skersmuo – $15 \div 30 \text{ }\mu\text{m}$. Nors ir pašalinus didžiąją dalį gumos priemaišų (stambios frakcijos daleles), pluošte randama iki 10 % gumos dalelių dulkių (dydis $0,1-0,2 \text{ mm}$).

Išdžiovinus padangų tekstilės pluoštą, toliau yra gaminamos kompozitinės garsą sugeriančios plokštės. Kompozitinės garsą sugeriančios plokštės gaminamos naudojant PTP ir poliuretano dervą su kietikiu (PU). Poliuretano derva pasižymi geromis atsparumo drėgmei ir rišamosiomis savybėmis, elastingumu, patvarumu ir tvirtumu (Yong et al., 2018).



2 paveikslas. Kompozitinių garsą sugeriančių bandinių gamybos etapai: a – pluošto išpurenimas; b – maišymas su rišamąja medžiaga; c – mėginių formavimas

2 paveiksle pateikiama mėginių gamybos seka. Pirmiausia yra paimamas reikalingas PTP kiekis ir įdedamas į maišymo talpą. Tuomet paruošiama rišamoji medžiaga – sumaišoma derva su kietikliu, santykiu 2:1. Rišiklis pilamas į pluoštą. Rišiklio inkorporavimas vyksta mechaniniu būdu naudojant mentelę. Maišymo trukmė yra apie 2 minutes. Toks laikas užtikrina tolygų rišiklio pasiskirstymą mėginio matricoje. Po to, kai PTP ir rišamoji medžiaga yra sumaišytos tarpusavyje, masė įdedama į mėginių formavimo formą. Formos vidinis skersmuo 29,9 mm. Formos vidus išklotas sviestiniu popieriumi, kad mėginys nepriliptų prie vidaus sienelių. Mėginys paliekamas džiuoti 24 h kambario temperatūroje. Išdžiovinus mėginius, jie išimami iš formos ir tuomet gali būti atliekamas garso sugerties koeficiento nustatymas interferometru. 1 lentelėje pateikiami padangų tekstilės pluošto ir rišiklio santykiai, kurie buvo vertinti šiame tyrime.

1 lentelė. Mėginių maišymo santykiai

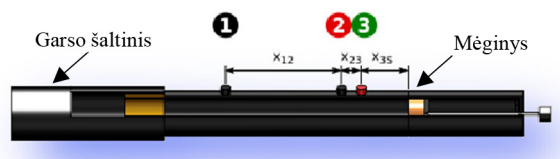
Tankis, kg/m ³	Mėginio storis, mm	Pluošto kiekis, wt %	Rišklio kiekis, wt %
125÷150	50÷60	90	10
		80	20
		70	30
		60	40
		50	50

Kiekvienam mėginio tipui buvo paruošti 3 bandiniai, nes tai yra minimalus kiekis, kuriuo galima įvertinti matavimų neapibrėžtį. Iš viso buvo paruošta 30 bandinių, kurie buvo ištirti interferometru. Pagrindinis kintamasis parametras, kuris buvo vertinamas – rišamosios medžiagos kiekio poveikis kompozitinės garsą sugeriančios medžiagos garso sugerties koeficiento savybėms.

2.2. Garso sugerties nustatymas perdavimo funkcijos metodu

Akustinis kompozitinių garsą sugeriančių plokščių charakterizavimas atliekamas interferometru. Garso sugerties koeficiento α metodas paremtas standartiniu metodu, kuris yra aprašytas ISO 10534-2 standarte „Akustika. Akustinių savybių nustatymas interferometrais. 2 dalis. Dviejų mikrofonų būdas normaliosios garso sugerties koeficientui ir normaliajai pilnutinei paviršinei varžai nustatyti“ (International Organization for Standardization [ISO], 1998).

Tyrimai atliekami naudojant 30 mm vidinio skersmens interferometrą, į kurį įdedamas mėginys. Mėginys turi tvirtai laikytis vamzdyje, palikdamas kaip įmanoma mažesnius tarpus tarp mėginio ir interferometro sienų. Mėginiai iš galo yra paremti kieto atspindinčio paviršiaus, kad būtų išvengtas garso bangos perdavimas per medžiagą. 3 paveiksle pateikiama interferometro principinė schema.



3 paveikslas. Interferometro principinė schema: 1, 2, 3 – mikrofonai Nr. 1, Nr. 2 ir Nr. 3; x_{12} , x_{23} – atstumai tarp mikrofonų; x_{35} – atstumas tarp mikrofono Nr. 3 ir mėginio

Perdavimo funkcija H_{12} ir H_{23} yra nustatoma kaip slėgio santykis tarp slėgių, išmatuotų mikrofonais tarp Nr. 1 ir Nr. 2 bei Nr. 2 ir Nr. 3, 1 formulė (ISO, 1998):

$$H_{12} = \frac{P_3(f)}{P_1(f)}, \quad H_{23} = \frac{P_3(f)}{P_2(f)}, \quad (1)$$

čia p_1 , p_2 , p_3 – slėgis, užfiksuotais mikrofonais Nr. 1, Nr. 2 ir Nr. 3, Pa; f – dažnis, Hz.

Tuomet yra nustatomi krentančiosios ir atspindėjusios bangos perdavimo funkcijos atitinkamiems dažnių diapazonams – 160–1000 Hz ir 1000–5000 Hz (ISO, 1998).

$$H_{I(160-1000 \text{ Hz})} = \frac{P_{2I}}{P_{1I}} = e^{-jk_0(x_{12}+x_{23})},$$

$$H_{I(1000-5000 \text{ Hz})} = \frac{P_{3I}}{P_{2I}} = e^{-jk_0(x_{23})}, \quad (2)$$

$$H_{R(160-1000 \text{ Hz})} = \frac{P_{2R}}{P_{1R}} = e^{-jk_0(x_{12}+x_{23})},$$

$$H_{R(1000-5000 \text{ Hz})} = \frac{P_{3R}}{P_{2R}} = e^{-jk_0(x_{23})}, \quad (3)$$

čia x_{12} – atstumas tarp mikrofonų Nr. 1 ir Nr. 2, kuris yra 100 mm; x_{23} – atstumas tarp mikrofonų Nr. 2 ir Nr. 3, kuris yra 20 mm.

Iš 1, 2 ir 3 formulių garso atspindžio koeficientas gali būti apskaičiuojamas pagal formulę (ISO, 1998):

$$R_{(160-1000 \text{ Hz})} = \frac{H_{12} - H_{I(160-1000 \text{ Hz})}}{H_{R(160-1000 \text{ Hz})} - H_{12}} e^{2jk_0(x_{12}+x_{23}+x_{35})},$$

$$R_{(1000-5000 \text{ Hz})} = \frac{H_{23} - H_{I(1-5 \text{ kHz})}}{H_{R(1-5 \text{ kHz})} - H_{13}} e^{2jk_0(x_{23}+x_{35})}, \quad (4)$$

čia R – garso atspindžio koeficientas, k_0 – bangos skaičius ore; j – kompleksinio skaičiaus indeksas, x_{35} – atstumas tarp mikrofono Nr. 3 ir mėginio, kuris yra 60 mm.

Paskutiniu žingsniu yra nustatomas garso sugerties koeficientas, kuris apskaičiuojamas pagal 5 formulę (ISO, 1998):

$$\alpha = 1 - |R|^2. \quad (5)$$

Garso sugerties koeficientas bematis dydis, kurio vertės kinta nuo 0 iki 1.

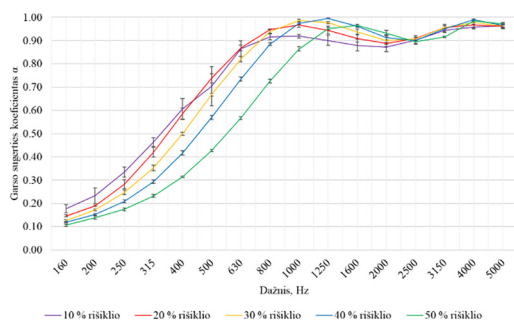
Kiekvienos serijos mėginių matavimų neapibrėžtis apskaičiuojama kaip standartinis matavimų nuokrypis (angl. *standard deviation*).

3. Rezultatai ir diskusija

Šiame skyriuje pateikiami garso sugerties koeficiento rezultatai, kai kintamasis parametras buvo rišklio kiekis kompozite. Šiame straipsnyje buvo ištirti dviejų tankių ir dviejų storių kompozitinės garsą sugeriančios plokštės, kurių rišklio kiekis kito nuo 10 iki 50 %, žingsniu kas 10 %.

4 paveiksle pateikti 125 kg/m³ ir 50 mm storio skirtingų kompozitų garso sugerties rezultatai. Matoma,

kad, didėjant rišiklio kiekiui kompozite, garso sugertis žemuosiuose ir vidutiniuose dažniuose mažėja. Kai rišiklio kiekis mažiausias (10 % bendros masės), garso sugertis žemuosiuose dažniuose kito nuo 0,18 iki 0,70, o, rišiklio kiekiui padidėjus 5 kartus, garso sugertis sumažėjo iki 0,11÷0,43. Didėjantis rišiklio kiekis kompozite sumažina atvirų ertmių kiekį, susidaro daugiau uždarytųjų porų, kurios tampa neefektyvios, nes garso banga negali prasiskverbti į medžiagos gilumą, kur vykėtų energijos virsmai. Aukštuosiuose dažniuose matoma, kad garso sugertis kinta visų mėginių paklaidų ribose. Sugerties pikai buvo pasiekti dažniuose nuo 800 iki 1600 Hz ir rezultatai siekė nuo 0,92 iki 1,00.

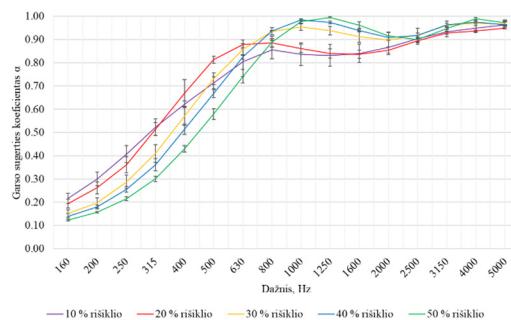


4 paveikslas. 125 kg/m³ tankio 50 mm storio kompozitinių garso sugeriančių bandinių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

5 paveiksle pateikiami rezultatai, kai buvo padidintas mėginių tankis iki 150 kg/m³. Čia matoma, kad, padidėjus mėginių tankiui, garso sugerties kreivė pasislinko žemesniųjų dažnių link. Didžiausia garso sugertis žemuosiuose dažniuose buvo pasiekta mėginio, kurio rišiklio kiekis buvo 20 %, o rezultatas siekė 0,81 esant 500 Hz. Žvelgiant į žemuosius dažnius, iki 315 Hz, didžiausia garso sugertis buvo pasiekta mėginio su 10 % rišiklio ir sugertis kito nuo 0,21 iki 0,51. Garso sugerties pikai buvo pasiekti nuo 630 iki 1250 Hz, ir vertės kito nuo 0,86 iki 0,99. Galima matyti, kad mėginių, kurių sandaroje buvo nuo 30 iki 50 % rišamosios medžiagos, vidutiniuose (nuo 1000 Hz) ir aukštuosiuose dažniuose garso sugerties koeficientas buvo panašus ir kito 0,91÷0,99 režiuose.

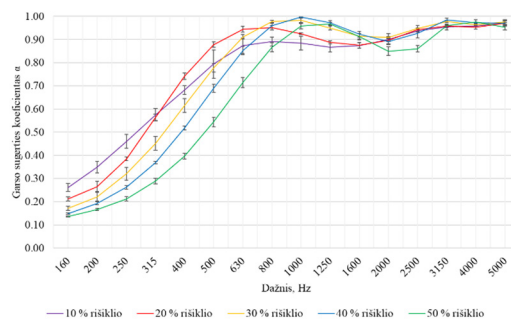
6 paveiksle pateikiami garso sugerties rezultatai, kai mėginių tankis buvo 125 kg/m³ ir 60 mm mėginių storis. Galima matyti, kad garso sugerties kreivė, lyginant su rezultatais, pateiktais 4 paveiksle, pasislinko žemųjų dažnių link. Iki 315 Hz garso sugertis kito nuo 0,26 iki 0,58 (mėginio su 10 % rišiklio), nuo 315 iki 500 Hz, mėginių su 20 % rišiklio garso sugertis buvo didesnė nei mėginių su 10 % rišiklio ir rezultatai kito nuo 0,58 iki 0,88.

Mažiausi rezultatai buvo užfiksuoti mėginių, kurių rišiklio kiekis kompozite buvo 50 % ir rezultatai nuo



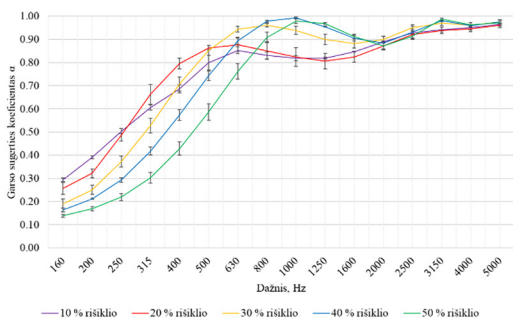
5 paveikslas. 150 kg/m³ tankio 50 mm storio kompozitinių garso sugeriančių bandinių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

0,17 iki 0,54 (žemuosiuose dažniuose). Vidutiniuose dažniuose nėra vienareikšmiško mėginio, kurio garso sugertis buvo didžiausia. Sugerties pikai buvo pasiekti nuo 630 iki 1250 Hz dažnių diapazone, o rezultatai buvo nuo 0,89 iki 1,00. Kaip ir mėginių, kurių storis buvo 50 mm, galima matyti, kad aukštuosiuose dažniuose rezultatai kinta matavimų paklaidų ribose.



6 paveikslas. 125 kg/m³ tankio 60 mm storio kompozitinių garso sugeriančių bandinių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

7 paveiksle pateikiami 150 kg/m³ 60 mm storio mėginių garso sugerties rezultatai. Lyginant gautus rezultatus su 50 mm mėginiais, matoma, kad garso sugerties pikas pasislinko 630÷1000 Hz diapazono link, ir rezultatai siekė nuo 0,88 iki 0,99. Žemuosiuose dažniuose, esant 500 Hz, mėginio su 20 % rišiklio garso sugerties rezultatas buvo didžiausias ir siekė 0,86. Dažniuose nuo 160 iki 250 Hz didžiausia garso sugertis fiksuota mėginio su 10 % rišiklio ir kito nuo 0,29 iki 0,50. Tokia tendencija stebima, nes kai buvo mažesnis rišiklio kiekis mėginio matricoje, buvo didesnis plaušelių kiekis, kuris sudarė didesnę ertmių kiekį. Taip pat padidėjusi garso sugertis žemuosiuose dažniuose pasiekama, kai mėginio storis yra ¼ bangos ilgio, kurį sugeria. Kaip ir prieš tai buvo matoma, mažiausią garso sugertį žemuosiuose dažniuose parodo mėginys su 50 % rišiklio. Mėginio 50 % masės yra pakeičiama rišikliu, kuris uždaro ertmes, todėl garso banga negali patekti į kompozitinę medžiagą.



7 paveikslas. 150 kg/m³ tankio 60 mm storio kompozitinių garsą sugeriančių mėginių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

Atlikus garso sugerties bandymus interferometru, galima matyti, kad didėjantis rišamosios medžiagos kiekis neigiamai veikia kompozitinę medžiagą, nes garso sugertis visame spektre sumažėja. Nustatyta, kad padidinus rišiklio kiekį kompozite nuo 10 iki 50 %, garso sugerties koeficientas vidutiniškai sumažėja nuo 4 iki 30 %, priklausomai nuo mėginių tankio ir storio.

Panašius tyrimus atliko ir kiti autoriai, kurie vertino rišamosios medžiagos įtaką medžiagų garso sugerties koeficiento rezultatams. Autoriai Gomez et al. (2023) atliko tyrimus su trimis skirtingomis medžiagomis (tekstile (audinių), kokosų pluoštu ir fikusinių augalų pluoštu) ir dviem skirtingais rišiklio kiekiais (rišiklis – lateksas). Gauti rezultatai parodė, kad didėjantis rišiklio kiekis visame spektre sumažina garso sugerties gebą. Kai rišiklio kiekis buvo 30 % (tekstilės atveju), garso sugerties koeficientas kito nuo 0,07 iki 0,98, o, padidinus rišiklio kiekį iki 60 %, garso sugertis sumažėjo iki 0,06÷0,90 rėžių (250–4000 Hz diapazone). Autoriai teigia, kad kompozitinių medžiagų garso sugerčiai didelę įtaką turi ir plaušelių dydis, t. y. kuo mažesnės dalelės, tuo didesnė garso sugertis yra pasiekama.

Kiti autoriai Das ir Roy (2021) taip pat atliko tyrimus su trimis skirtingais rišiklio kiekiais ir taip pat buvo stebima, kad didinant rišamosios medžiagos kiekį kompozite garso sugertis mažėjo visame spektre. Kai rišiklio kiekis buvo 10 %, garso sugertis kito nuo 0,10 iki 0,98, o, padidinus trimis kartais iki 30 % rišiklio kiekį, garso sugertis sumažėjo 0,07÷0,95 (200–2500 Hz diapazone), ir pasislinko garso sugerties pikas aukštesnių dažnių link. Autoriai teigia, kad didesnis rišiklio kiekis suteikia kompozitinei medžiagai stabilumo, tačiau blokuoja poras, esančias medžiagos viduje.

4. Išvados

1. Atlikus kompozitinių medžiagų garso sugerties tyrimus, buvo gauta, kad, didėjant rišamosios medžiagos kiekiui kompozite, garso sugertis visame spektre mažėja. Toks reiškinys gali būti paaiškintas tuo, kad rišamoji

medžiaga užpildo ertmes tarp dalelių, todėl garso banga negali prasiskverbti į medžiagos vidų (Kim & Lee, 2010).

2. Žemuosiuose dažniuose garso sugerties koeficientas siekė nuo 0,18 iki 0,85, kai kompozitinių garsą sugeriančių plokščių sudėtyje buvo nuo 10 iki 20 % rišamosios medžiagos. Vidutiniuose dažniuose garso sugertis kito nuo 0,87 iki 1,00, o aukštuosiuose dažniuose nuo 0,87 iki 0,99.

3. Siekiant panaudoti kompozitines garsą sugeriančias plokštes patalpoje akustiniam komfortui gerinti, plokštės parenkamos pagal tai, kokius dažnius siekiama suvaldyti. Žemųjų dažnių (160–500 Hz) diapazono garso bangoms valdyti geriausia yra naudoti plokštes, kurių sudėtyje yra 10 arba 20 % rišamosios medžiagos (α kinta 0,18÷0,88), vidutiniams dažniams (630–2000 Hz) valdyti – kompozitines plokštes su 20 % rišiklio (α kinta 0,85÷0,94), o aukštųjų dažnių (2500–5000 Hz) diapazono garso bangoms valdyti galima naudoti plokštes (α kinta 0,89÷0,99), kurių sudėtyje yra nuo 10 iki 50 % rišiklio.

Literatūra

- Chin Vui Sheng, D. D., Yahya, M. N. B., & Che Din, N. B. (2022). Sound absorption of microperforated panel made from coconut fiber and polylactic acid composite. *Journal of Natural Fibers*, 19(7), 2719–2729. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1821290>
- Das, J., & Roy, M. D. (2021). A study of sound absorption properties of jute felt mattress. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series E*, 102(2), 369–375. <https://doi.org/10.1007/s40034-021-00229-x>
- Ehsan Samaei, S., Berardi, U., Taban, E., Soltani, P., & Mohammad Mousavi, S. (2021). Natural fibro-granular composite as a novel sustainable sound-absorbing material. *Applied Acoustics*, 181, Article 108157. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108157>
- Ene, A., & Ctalina, T. (2021). Improving speech intelligibility in a high school classroom using sound absorbing panels. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 18(1), 40–45. <https://rjav.sra.ro/index.php/rjav/article/view/255>
- Gomez, T. S., Zuluaga, S., Jimenez, M., de la Prida, D., Pedrero, A., Navacerrada, M. A., Restrepo-Osorio, A., & Fernandez-Morales, P. (2023). Sound absorption behavior of repurposed waste fibers: Effects of fiber size, density, and binder concentration. *Applied Acoustics*, 202, Article 109174. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109174>
- International Organization for Standardization. (1998). *Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2: Transfer-function method*. https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primo&id=1278908
- Yang, T., Hu, L., Xiong, X., Petrù, M., Noman, M. T., Mishra, R., & Militký, J. (2020). Sound absorption properties of natural fibers: A review. *Sustainability*, 12(20), Article 8477. <https://doi.org/10.3390/su12208477>
- Yong, Q., Liao, B., Huang, J., Guo, Y., Liang, C., & Pang, H. (2018). Preparation and characterization of a novel low gloss waterborne polyurethane resin. *Surface and Coatings*

- Technology*, 341, 78–85.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.01.012>
- Yuvaraj, L., & Jeyanthi, S. (2020). Acoustic performance of countersunk micro-perforated panel in multilayer porous material. *Building Acoustics*, 27(1), 3–20.
<https://doi.org/10.1177/1351010X19886588>
- Kawata, M., Tsuruta-Hamamura, M., & Hasegawa, H. (2023). Assessment of speech transmission index and reverberation time in standardized English as a foreign language test rooms. *Applied Acoustics*, 202, Article 109093.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109093>
- Kim, H. K., & Lee, H. K. (2010). Acoustic absorption modeling of porous concrete considering the gradation and shape of aggregates and void ratio. *Journal of Sound and Vibration*, 329(7), 866–879. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.10.013>
- Labia, L., Shtrepi, L., & Astolfi, A. (2020). Improved room acoustics quality in meeting rooms: Investigation on the optimal configurations of sound-absorptive and sound-diffusive panels. *Acoustics*, 2(3), 451–473.
<https://doi.org/10.3390/acoustics2030025>
- Liuzzi, S., Rubino, C., Martellotta, F., & Stefanizzi, P. (2023). Sustainable materials from waste paper: Thermal and acoustical characterization. *Applied Sciences*, 13(8), Article 4710. <https://doi.org/10.3390/app13084710>
- Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim, M. H. (2022). Environmental impact of cement production and solutions: A review. *Materials Today: Proceedings*, 48, 741–746.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.212>
- Olechowska, M., Nowoswiat, A., Slusarek, J., & Latawiec, M. (2018). The influence of the distribution of sound absorbing materials on the estimation of reverberation time in rooms. *E3S Web of Conferences*, 49, Article 00078.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184900078>
- Pan, J., Zhou, X., Gao, Y., Qian, Y., & Lyu, L. (2024). Structural characteristics properties of sugarcane bagasse and its sound absorption as composites. *Textile Research Journal*.
<https://doi.org/10.1177/00405175241229231>
- Ružickij, R., & Grubliauskas, R. (2023). Prediction of sound absorption of waste tyre textile fibre composite material. In *12th International Conference "Environmental Engineering"* (pp. 1–7), Vilnius, Lithuania.
<https://doi.org/10.3846/enviro.2023.841>
- Salino, R. E., & Catai, R. E. (2023). A study of polyurethane waste composite (PUR) and recycled plasterboard sheet cores with polyurethane foam for acoustic absorption. *Construction and Building Materials*, 387, Article 131201.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131201>
- Su, S., Gao, Y., Zhou, X., Xiong, X., Wang, Y., & Lyu, L. (2022). Structure of waste hemp stalks and their sound absorbing properties. *Polymers*, 14(22), Article 4844.
<https://doi.org/10.3390/polym14224844>
- Tie, T. S., Mo, K. H., Putra, A., Loo, S. C., Alengaram, U. J., & Ling, T. C. (2020). Sound absorption performance of modified concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 30, Article 101219. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101219>
- Vėjelis, S., Vaitkus, S., Kremensas, A., Kairytė, A., & Šeputytė-Jucikė, J. (2023). Reuse of textile waste in the production of sound absorption boards. *Materials*, 16(5), Article 1987.
<https://doi.org/10.3390/ma16051987>
- Xu, L., Ni, H., Zhang, Y., Sun, D., Zheng, Y., & Hu, M. (2022). Porous asphalt mixture use asphalt rubber binders: Preparation and noise reduction evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 376, Article 134119.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134119>

INVESTIGATION AND EVALUATION OF THE INFLUENCE OF BINDER ON THE SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF TYRE TEXTILE FIBRE COMPOSITE PANELS

R. RUŽICKIJ, R. GRUBLIAUSKAS

Abstract. When performing activities in large rooms, insufficient acoustic comfort is often encountered. Various solutions are applied to improve the acoustic conditions. Suspended ceilings and mineral wool panels are one of the most typical solutions for improving the acoustic comfort of rooms. However, the production of such panels uses natural resources and consumes large amounts of energy. Tyre textile fibre is waste obtained by recycling end-of-life tyres. Together with the binding material, a composite sound absorbing panel would be created, which would be a less polluting alternative to the widely used mineral wool. The aim of this study is to investigate the effect of increasing the amount of binder in the composite on the acoustic properties. The method for determining the sound absorption coefficient is based on the standard method described in the ISO 10534-2 standard. The results of the study showed that with an increase in the amount of binder in the composite from 10 to 50%, the sound absorption in the whole spectrum decreases on average from 4 to 30% (the higher the amount of binder, the more the sound absorption decreased). The obtained results show that the amount of binder in the composite determines the sound absorption capacity of the composite sound absorbing panel.

Keywords: tyre textile waste, composite sound absorbing panel, secondary use, sound absorption coefficient.