

## KONSTRUKCIJŲ IŠ PERDIRBTO PLASTIKO NAUDOJIMAS GARSO IZOLIACIJAI IR SUGERČIAI GERINTI

Andrej Naimušin<sup>1</sup>, Tomas Januševičius<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,  
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra*

El. p. <sup>1</sup>andrej.naimusin@vilniustech.lt; <sup>2</sup>tomas.janusevicius@vilniustech.lt

**Anotacija.** Darbe nagrinėjamos susidariusių plastiko atliekų naudojimo galimybės pastatų vidaus akustinėms savybėms gerinti. Darbo tikslas – apžvelgti esamą plastiko atliekų susidarymo ir perdirbimo problematiką, išanalizuoti kitų mokslininkų tyrimus žiedinės ekonomikos ir antrinių žaliavų naudojimo akustikoje tematika. Atliekant literatūros analizę buvo išnagrinėtos mokslininkų pastebėtos antrinių žaliavų naudojimo akustikoje bendros tendencijos. Išnagrinėtos pagrindinės garso izoliacijos ir medžiagų garso sugerties savybės, jų parametrai ir įtaka pastatų akustikai. Pateiktas garso izoliacijos ir sugerties savybių pritaikomumas konstrukcijoms iš perdirbto plastiko.

**Reikšminiai žodžiai:** akustika, absorbcija, izoliacija, perdirbtas plastikas, žiedinė ekonomika.

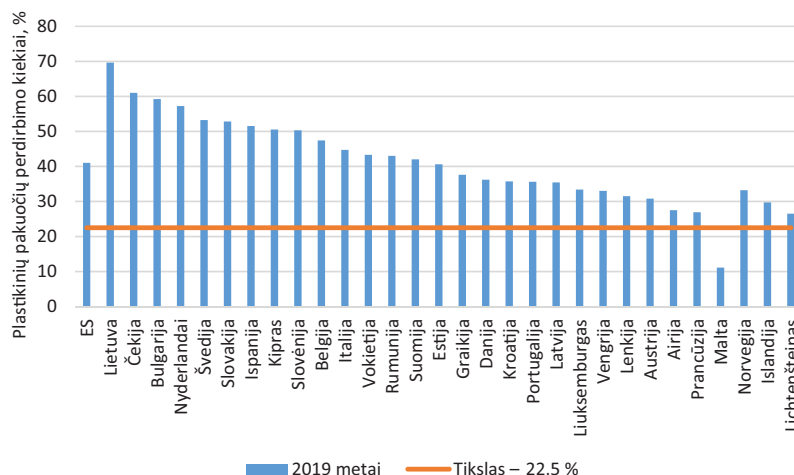
### Įvadas

Besikaupiančios plastiko atliekos ir tinkamų šalinimo metodų nebuvimas sukėlė itin svarbią problemą, kai plastiko atliekos patenka į vandens išteklius, perpildo sąvartynus, išsiplauna į dirvožemį ir patenka į orą, taip teršdamos visus gamtos objektus ir išteklius mūsų aplinkoje (Lamba et al., 2021).

Plastikas – vienas svarbiausių šiuolaikinio gyvenimo elementų, plačiai naudojamas visose srityse. Pasaulyje kasmet pagaminama daugiau nei 300 mln. t plastikinių medžiagų, kurių didžioji dalis išmetama į vandenyną,

užkasama sąvartynuose arba tiesiog sudeginama. Plastiko atliekos sukelia rimtų pasaulinio masto aplinkos ir sveikatos problemų, tokių kaip tarša, biologinės įvairovės nykimas, energijos ir ekonominiai nuostoliai (Sezgin et al., 2021).

1 paveiksle parodytas plastikinių pakuočių atliekų perdirbimo rodiklis ES valstybėse narėse ir Europos ekonominės erdvės bei Europos laisvosios prekybos asociacijos šalyse 2019 m. Perdirbimo norma apima tik medžiagų perdirbimą ir jokių kitų perdirbimo formų, t. y. tik medžiagas, kurios perdirbamos atgal į plastiką.



1 paveikslas. Plastikinių pakuočių atliekų perdirbimo kiekiai 2019 m. (Eurostat..., 2021)

Visos valstybės narės, išskyrus Maltą, pasiekė tikslą, kad perdirbtų plastikinių pakuočių atliekų susidarytų bent 22,5 %. Daugiausia plastikinių pakuočių buvo perdirbta Lietuvoje – net 69,6 % nuo bendro atliekų kiekio.

Tokie atliekų susidarymo ir perdirbimo kiekiai rodo aktualumą antrinių žaliavų naudojimo tyrimams ir paieškai pritaikyti jas kitose sferose, pavyzdžiui, tobulinant pastatų vidaus akustiką, gerinant izoliaciją ir/arba patalpų aidėjimą. Kalbant apie patalpų aidėjimą, triukšmo kontrolė yra viena svarbiausių problemų, su kuriomis susiduriama perpildytose patalpose, tokiose kaip prekybos centrai, rezidencijos, ligoninės ir gamyklos. Porėtos medžiagos dažnai naudojamos projektuojant tokiose perpildytose vietose, siekiant sumažinti foninį triukšmą, tačiau dažnai taip sumažinama ir akustinė kokybė bei kalbos perdavimo indeksas.

Tyrimo tikslas – įvertinti plastiko atliekų perdirbimo ir apdorojimo tendencijas bei naudojimo galimybes pastatų vidaus akustinėms savybėms gerinti.

### Plastiko atliekų apdorojimas ir perdirbimas

Plastiko perdirbimas pabrėžiamas kaip svarbus žingsnis pereinant prie žiedinės ekonomikos, siekiant išvengti iškastinių išteklių naudojimo ir uždaryti plastiko perdirbimo ratą (Eriksen et al., 2019).

Tačiau plastiko atliekos, ypač iš skirtingų namų valdų, yra labai nevienodos, nes juose yra daug įvairių plastiko polimerų, skiriasi produkto tipai, gaminių dizainas ir pan., be to, toks plastikas dažnai yra užterštas (Eriksen et al., 2019).

Yra įvairių būdų, kaip apdoroti ir perdirbti plastiko atliekas. Pirmasis apdorojimo žingsnis – susmulkinti atliekas iki norimo dydžio, kuris toliau leis apdoroti pažangesniais perdirbimo procesais (Mohan et al., 2021).

2016 m. Dharmaraj ir Iyappan (2016) naudojo metalinį piestą ir grūstuvę, norėdami susmulkinti mažo tankio polietileną (LDPE), ištirpusį 120 °C temperatūroje, į pusiau skystą formą. Tada likusios dalelės sijojamos per 4,75 mm sietą. Tyrimai buvo atlikti naudojant rotacinį malūnėlį atliekoms smulkinti.

Tačiau atrandama ir paprastesnių sprendimų, vieną iš jų aprašė 2015 m. Chen ir kt. (2015) tiesiogiai susmulkintus plastiko atliekas sraiginiame ekstruderyje. Po pirminio apdorojimo granulės vėl perduodamos ekstruderui kartu su užpildu ir jungiamąja medžiaga. Šiame procese plastiko dalelių dydis nėra svarbus, nes kai plastikas lydosi, skirtingi segmentai sulimpa ir sudaro vientisą medžiagą. Taigi plastikas, sumaišytas tolygiai visoje medžiagoje, suteikia gaminiui gerą pagrindą, šiuo atveju plytai.

Didelio tankio polietilenas (HDPE) ir (LDPE) yra dažniausiai naudojami polimerai polietileno tereftalato (PET) butelių kamštelių gamyboje. Pastaruoju metu didelio tankio polietilenas ir polipropilenas sudaro beveik

30 % plastiko naudojimo apimties po perdirbimo (Sezgin et al., 2021).

Perdirbto plastiko naudojimas statybose mažina aplinkos problemas, saugo likusius gamtos išteklius, mažina pastatų savąją apkrovą. D. Foti 2011 ir 2013 m. pagamino ir pademonstravo galimus perdirbto PET juostų naudojimo būdus kaip vienpusį ar dvikryptį betoninių plokščių ir dangų sutvirtinimą bei kitus jų pritaikymo būdus. Be to, perdirbtas PET turi svarbių pranašumų mažindamas plastiko atliekų kiekį, gamybos sąnaudas ir plieno korozijos sukeltą konstrukcijos degradaciją (Foti, 2011, 2013).

2018 m. Marques ir kt. (2018) tyrimas parodė, kad kompozitai su perdirbtu PET, pakeičiant iki 55 % poliuretano (PU) vienoje termoakustinėje izoliacinėje plokštėje, pasižymi atsparumu ugniai. Dėl to poliuretano plokštės gali būti saugios ir efektyvios naudoti kaip šilumos ir garso izoliacinės medžiagos statybų pramonėje.

Kita vertus, užpildytų PET butelių naudojimas kaip plytos populiarėja žaliosiose ir alternatyviose bendruomenėse. Muyen ir kt. (2016) bandė sukurti plytas iš PET butelių, užpildytų smulkiu smėliu, dedant jas į liejimo formą ir apsupant jas 2 cm storio cemento skiediniu. Mokslininkai pastebėjo, kad šių plytų atsparumas gniuždymui, lyginant su įprastomis, yra gerokai geresnis.

Raut ir kt. (2015) aptarė plytų, pagamintų iš PET butelių ir cemento, naudojimo galimybes statybose. Jie padarė išvadą, kad plastikinės plytos yra tvaresnės už tradicines, nes plastikas turi geresnę šiluminę varžą ir sunaudoja mažiau cemento, todėl gamybos proceso metu sumažėja CO<sub>2</sub> emisija. Be to, sienos, išmūrytos iš plytų ir blokelių su plastikais, pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, yra netrapios, lanksčios ir atsparios staigioms smūginėms apkrovoms.

Daugelis technologijų, paverčiančių atliekas energija, padeda tvarkyti tik kelių rūšių atliekas, tokias kaip biomasė, kietosios atliekos ir pan. Taip pat daugumą šių procesų reikia labiau plėtoti dėl įvairių iššūkių, tokių kaip infrastruktūra, vyriausybės politika, žaliavos, socialinis priimtinumas ir techniniai apribojimai (Sakthipriya, 2021).

Pastaruoju metu didėja susidomėjimas plastiko atliekų pirolize, kai jos termiškai skaidomos ir gaunama alyva, kurią potencialiai galima būtų naudoti kaip kurą (Thiounn et al., 2020). Sharuddin ir kt. (2016) išanalizavo įvairių tipų plastiko atliekų pirolizės procesą ir parametrus, tokius kaip temperatūrą, reaktorių tipus, buvimo laiką, slėgį, katalizatorius ir pan., kurie turi įtakos galutiniam produktui, pavyzdžiui, naftai, dujoms ir anglims. Dauguma tyrėjų pasirinko būtent pirolizės procesą, nes jis gali išgauti daugiausia energijos išteklių iš plastiko atliekų. Todėl mokslininkai nustatė, kad tai yra perspektyvi plastiko atliekų perdirbimo alternatyva, taip pat ir ekonomiškai eksploatacijos požiūriu. Mokslininkai

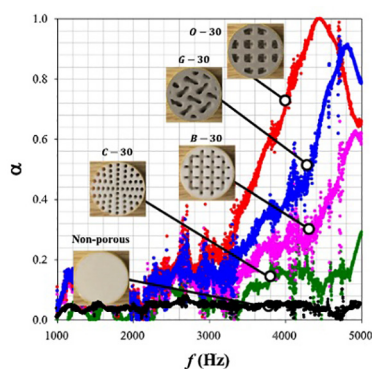
apžvelgė įvairius procesus ir rekomendavo lėtą pirolizę ir žemesnės temperatūros procesą, kad būtų galima gauti anglį, ir greitą bei staigią pirolizę naftai ir dujoms gauti (Harussani et al., 2020).

### Garso absorbcijos ir izoliacijos konstrukcijose priklausomybė nuo medžiagos poringumo, konstrukcijos struktūros ir masės

Pagal skirtingas struktūras garsą sugeriančias medžiagas galima suskirstyti į porėtą sugeriančią medžiagą, rezonanso sugeriančią medžiagą ir specialią garso sugerties struktūrą/konstrukciją. Porėta, garsą sugerianti medžiaga atitinka maksimalią absorbcijos kategoriją ir yra plačiausiai naudojama. Rezonanso sugeriančią medžiagą sudaro lakštinis rezonatorius, perforuotos plokštės ir mikroperforuotos plokštės.

Yra daug aspektų, turinčių įtakos aktyvųjų pluoštinių medžiagų garso sugerties savybėms, o būtent akustinė varža, atsparumas oro srautui, poringumas ir struktūriniai veiksniai (vingiuotumas) bei, atsižvelgiant į struktūrą, storis, tūrinio tankis ir oro ertmė už plokštės konstrukcijoje.

Oro srauto pasipriešinimas yra oro dalelių, einančių per medžiagą, pasipriešinimas, kuris gali būti išreikštas slėgio gradiento medžiagoje ir oro srauto tiesinio greičio santykiu pastovaus oro srauto sąlygomis. Oro srauto pasipriešinimas yra susijęs su varža, todėl galimas garso sugerties charakteristikų reguliavimas. Garso sugerties savybė gerėja didėjant pluoštinės medžiagos savitumui, o mažėja, kai varža viršija tam tikrą vertę. Jei oro srauto pasipriešinimas yra labai mažas, akustinės energijos susilpnėjimas dėl vidinės trinties yra nedidelis, tada sugerties efektas yra mažas. Jei varža yra labai didelė, dauguma akustinių bangų atsispindi ir sugertis tampa silpnesnė. Garso sugerties kreivės juda žemojo dažnio link, didėjant varžai. Pluoštinių poringų medžiagų oro srauto pasipriešinimas priklauso nuo pluošto morfologijos, dydžio, tankio, poringumo, vingiuotumo ir išdėstymo (Peng, 2017).



2 paveikslas. Garso sugerties koeficientų kitimas nuo dažnio, esant skirtingoms vienetų struktūroms (Non-porous – neporinga struktūra; C-30, B-30, G-30, O-30 – skirtingos struktūros su 30 % poringumu) (Aslan & Turan, 2020)

Bangos perdavimo kelio ilgį lemia pluoštinės medžiagos storis. Kuo storesnė medžiaga, tuo ilgesnis garso perdavimo kelias, o akustinė energija susilpnėja. Didėjant medžiagos storiui, pagerėja vidutinis sugerties koeficientas, o didžiausia absorbcijos vertė juda žemojo dažnio link. Tačiau nepraktiška gerinti patalpos sienų sugerties efektyvumą didinant jų storį. Esant tam tikram storiui, medžiagos tankio padidėjimas gali pagerinti sugerties efektyvumą esant žemesiems dažniams. Taip pat pagerėjimas yra žymiai mažesnis nei padidintas storis. Vidutinis tankis turi geriausią garso sugerties savybę. Tankio įtaka yra kompleksinė, jam įtakos turi pluoštų morfologija, poringumas ir oro srauto pasipriešinimas. Atsivėrusios pluoštinės medžiagos poringumas yra tarpusavyje sujungtų kanalų ir porų, atsivėrusių į erdvę, tūrio procentas, arba kitaip porų kiekis kietajame kūne. Didesnis poringumas reiškia daugiau tarpusavyje susijusių porų medžiagos viduje ir didelį specifinį paviršiaus plotą. Tarp oro ir pluoštų yra didesnė vidinė trintis, todėl garso sugerties koeficientai yra didesnis (Peng, 2017).

2020 m. Aslan ir Turan savo straipsnyje pristatė aktyvą plastikinį garso sugėriklį kaip alternatyvą sienoms iš gipso kartono, pagamintą naudojant 3D spausdinimo technologijas (2 pav.). Rezultatai parodė, kad plastiko pagrindu pagamintos porėtos medžiagos užtikrina reikšmingą garso sugertį, palyginti su neporėtu etaloniniu mėginiu.

Paprastai konstrukcijose tarp porėtos sugeriančios medžiagos ir standžios atramos yra tam tikro storio oro ertmė. Atsispindinčios bangos iš standžios atramos ir krintančiosios bangos sudaro 180 laipsnių fazių skirtumą. Tokios konstrukcijos absorbcijos efektyvumas priklauso nuo oro tarpo storio, nes atsispindinčios bangos nuo standžios atramos gali interferuoti, dėl ko garso sugerties charakteristikos tampa prasčiausios (Peng, 2017).

Pavyzdžiui, 2021 m. mokslininkai pristatė visiškai parametrizuotą Archimedo spiralinių ertmių kaip akustinių rezonatorių projektavimą, optimizavimą ir derinimą, kad būtų pasiekta tobula absorbcija esant žemesniems nei 1000 Hz dažniams, naudojant visiškai modulinį dizainą (3 pav.). Buvo pasiekta gera pusiausvyra tarp teorijos, modeliavimo ir eksperimentų rezultatų (de Sousa et al., 2021).

Liu ir kt. (2017), tirdami perforuotą skydą su absorbuojančia medžiaga, išsiaiškino, kad didžiausios garso sugerties plotis didėja didėjant oro tarpo gyliui, taip pat yra perkeliama didžiausias garso sugerties koeficientas į žemųjų dažnių diapazoną. Mokslininkai aiškina, kad taip yra todėl, kad abu angų galai yra atviri, o skylės veikia kaip akustinė masė ir oro molekulės tarpuose veikia kaip akustinė spyruoklė, kas sukuria masinį ir spyruoklinį rezonansą. Didžiausias garso sugerties koeficientas atsiranda tada, kai oro tarpo standumas panaikina skylių masę. Oro tarpo gylio padidėjimas sumažina oro tarpo standumą ir taip perkelia sugerties piką prie žemesnių



3 paveikslas. 3D atspausdinti du Archimedo spiralinių ertmių sistemos sluoksniai (de Sousa et al., 2021)

dažnių, kas išplečia didžiausio garso sugerties koeficiento juostos plotį (Liu et al., 2017).

Medžiagos garso izoliacija priklauso nuo trijų fizikinių parametru: mėginio masės, jo paviršiaus tankio ir standumo. Plokščių izoliacinės savybės esant žemiems dažniams daugiausia priklauso nuo standumo. Kuo plokštė standesnė, tuo geresnė garso nepraleidžianti savybė. Pagal apibrėžimą standumas  $S$  gali būti išreikštas taip:

$$S = \frac{1}{12} \times \left( \frac{Eh^3}{1-\nu^2} \right), \quad (1)$$

čia  $E$ ,  $h$ ,  $\nu$  – Jungo modulis, storis ir atitinkamai Puasono santykis. Tai parodo, kad storis ir Jungo modulis turi tiesioginį ryšį su standumu (Peng, 2017).

Rezonansas atsiranda, kai krantinčiosios bangos dažnis ir plokštės natūralus dažnis yra lygūs. Rezonanso reiškinys sumažins žemojo dažnio plokščių garso izoliacijos savybes. Rezonanso amplitudę veikia garso slopinimo faktorius: kuo didesnis garso slopinimo koeficientas, tuo mažesnė rezonanso amplitudė. Plonos plokštės rezonansinis dažnis yra susijęs su jos dydžiu, storiumi, Jungo moduliui ir medžiagos paviršiaus tankiu, kurį galima apskaičiuoti pagal šią lygtį:

$$f_r = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{M} \left( \frac{n^2}{l_x^2} + \frac{m^2}{l_y^2} \right)}, \quad (2)$$

čia  $B$  – plokštės standumas (N·m);  $E$  – Jungo modulis (Pa);  $h$  – plokštės storis, m;  $M$  – medžiagos paviršiaus tankis, kg/m<sup>2</sup>. Pažymėtina, kad plokštės montavimo būdas ir kontaktas su kitomis konstrukcijomis bei medžiagomis turi didelę įtaką rezonanso perdavimo nuostolių reikšmėms (Peng, 2017):

$$R = 20 \lg Mf - 48, \quad (3)$$

čia  $M$  – medžiagos tankis, kg/m<sup>2</sup>;  $f$  – atsitiktinės krantinčiosios bangos dažnis, Hz. Iš 3 formulės galima daryti išvadą, kad masės kontroliuojamoje srityje plokštės garso mažinimo indeksas yra priklausomas nuo medžiagos tankio ir dažnio. Garso mažinimo indeksas padidėja maždaug 6 dB kiekvieną kartą padvigubėjus paviršiaus masei arba dažniui šioje srityje. Šitas reiškinys dažnai yra išreiškiamas kaip masės dėsnis (Peng, 2017).

Wen ir kt. (2020) aprašoma, kaip sukuriama nauja daugiasluoksnė struktūra su sudėtingomis išlenktomis

apvaliomis tuštumomis. Konstrukcija sukurta taikant keturių žingsnių strategiją ir pagaminta naudojant 3D spausdinimo technologijas, o jos garso perdavimo nuostolių charakteristikos tiriamos naudojant stovinčiosios bangos vamzdžio metodą interferometre. Buvo padaryta išvada, kad medžiagos tuštumos pusrutulio spindulys turi didelę įtaką garso perdavimo sumažėjimui, tačiau esant tik santykinai aukštiems dažniams. Taip pat iš tyrimų akivaizdžiai matyti, kad tuštumų sienelių storis medžiagoje turi didelį poveikį garso perdavimo sumažėjimui, ypač 1000–6000 Hz dažnių juostoje (Wen et al., 2020).

### Plastiko atliekų naudojimas pastatų akustikai gerinti

Statybų pramonės ir sektorius atlieka labai svarbų vaidmenį ieškant atsinaujinančių išteklių naudojimo galimybių statybose. D'Amore ir kt. (2017) pranešė apie naujovišką stiklo putų gamybos metodą (4 pav.). Šios stiklo putos galėtų būti perspektyvi alternatyva akmens vatos izoliacijai, nes jos puikiai veikia kaip garso izoliatorius, leidžiantis sumažinti naudojamą plotą, svorį ir išlaidas, susijusias su CO<sub>2</sub> išmetimu, naudojant gamybai labai mažai atliekų kiekį. Panaudotas stiklo procentas turi įtakos galutiniam putplasčio tankiui. Akustiniai bandymai ir skenuojantysis elektroninis mikroskopas parodė atvirų elementų struktūrą, kuri pagerina garso sugertį vidutinio dažnio diapazone, taip pat pagerina šilumos izoliacijos savybes.



4 paveikslas. Nesukepinto stiklo putplasčio pavyzdys ir detalės makrostruktūra (D'Amore et al., 2017)

Pavyzdžiui, Sezgin ir kt. (2021) savo tyrime bandė suprojektuoti aukštos pridėtinės vertės kompozitines plokštes, kurios veikia kaip alternatyvi šiluminė ir akustinė medžiaga, derinant tekstilės ir pakuočių atliekas iš dviejų skirtingų sektorių. Tiek tekstilės, tiek pakuočių atliekų naudojimas kaip kompozitiniai komponentai leidžia gaminti 100 % perdirbtas izoliacines plokštes, o tai yra originalus kompozitinių izoliacinių plokščių gamybos būdas. Rezultatai parodė, kad akytosios kompozitinės plokštės buvo pagamintos iš pakuočių ir tekstilės atliekų, o šių plokščių šilumos ir garso izoliacinės savybės prilygsta pastatų komercinėms panašioms medžiagoms. Svarbiausia fizinė savybė, kontroliuojanti oro garso perdavimo per medžiagą praradimą, yra masė pločio vienetui. Todėl, tirdami 5 mm storio plokštes, maišytas su polipropilenu arba polietilenu, mokslininkai gavo



6 dB ir 8 dB garso perdavimo nuostolį, esant 1000 Hz, o tiriant 20 mm – 2 ir 3 dB.

Makro- ir mikroplastiko atliekos paveikia visas buveines, bet ypač jūrų ir vandenynų aplinką. Deja, plastiką ypač sunku paimti iš jūros, nes dėl vėjo erozijos, nuolatinio vandens judėjimo ir saulės spindulių radiacijos jis linkęs susiskaidyti į smulkesnes dalis. Todėl plastiko gyvavimo ciklas, tvarkymas ir valdymas tapo pagrindine problema. Dažniausiai panaudotos plastiko atliekos šalinamos sąvartynuose arba sudeginamos, nes yra sudarytos iš įvairių polimerų ir/arba buvo užterštos druska ar kitomis vandenyje esančiomis medžiagomis. Caniato ir kt. (2021) savo straipsnyje pristatė visiškai naują tvirtą medžiagą – ekologišką putų polistireną, pagamintą iš mikroplastiko atliekų. Ši nauja atvirų porų medžiaga gali būti naudojama kaip akustinė ir šilumos izoliacinė priemonė pramonėje, visuomeninėse pastatuose ir laivyboje. Šiluminių ir akustinių savybių analizė parodė, kad nauja medžiaga gali lengvai konkuruoti su tradiciniais šilumos ir garso izoliatoriais, tokiais kaip akmens vata, poliuretano putos ir pan. Be to, galima koreguoti medžiagos garso sugertį iki norimo dažnių diapazono, keičiant mikroplastiko kiekį medžiagoje.

Keletas mokslininkų bandė panaudoti polipropileno (PP) pluošto atliekas, gamindami funkcinis audinius arba garso sugerties ir termoizoliacinės medžiagas. Pavyzdžiui, Lin ir kt. (2016) gamino nepraduriamas akustines ir šilumos izoliacines kompozicines medžiagas, naudojant perdirbtas kevlaro, nailono, mažai lydanti poliesterio neaustines medžiagas, kurios buvo sutvirtintos perdirbto polipropileno neaustinėmis siūlėmis. Šiame tyrime neaustinis kompozitas buvo pagamintas įterpiant PP neaustinius siūlus skirtingomis kryptimis tarp kevlaro, nailono, mažai lydancio poliesterio neaustinių audinių. Nustatyta, kad pridėjus PP atliekas kompozitų garso sugertis padidėjo 0,2 ties 2224 Hz. Autorių penkių sluoksnių kompozitinių medžiagų šilumos laidumas buvo žemiausias – 0,047 W/mK, o garso sugerties koeficientas didesnis nei 0,94, kai dažnis yra didesnis nei 1890 Hz (Lin et al., 2016).

Zhao ir kt. (2014) sumaišė polipropileno pluoštą su cementu, užpildu (išpūstu perlitu, molio keramzitu ir šlaku) ir priedu, kad pagamintų akytas garsą sugeriančias betonines plokštes ir ištirtų geležinkelio triukšmo mažinimą. Pastebėta, kad porėtos garsą sugeriančios betoninės plokštės gali sumažinti geležinkelio keliamą triukšmą važiuojant skirtingu traukinio greičiu. Triukšmo sumažinimas yra apie 4,05 dB, kai traukinio greitis nesiekia 200 km/val., lyginant su paprastomis standartinėmis plokštėmis (Zhao et al., 2014).

Bhat ir Messiry (2020) sukūrė ir ištyrė neaustinių medžiagų iš medvilnės, poliesterio ir polipropileno pluoštų naudojimą garsą sugeriančioms neaustinėms

medžiagoms. Įvairių medžiagų (medvilnės, medvilnės ir poliesterio mišinio, poliesterio pluošto štampuoto audinio) ir polipropileno lydalo pūsto neaustinio audinio) ir daugiasluoksnių struktūrų pavyzdžiai buvo išbandyti su jų pačių suprojektuotu interferometru. Pluošto mazgų akustinės sugerties savybės buvo tiriamos 100–1500 Hz dažnių srityje. Įvairių mėginių garso sugerties koeficiento reikšmės parodė, kad polipropileno mikropluošto lydalo pūstas neaustinis mėginys pasižymi geru garso sugerties efektu visame dažnių diapazone. Maksimalus šių neaustinių medžiagų sugerties koeficientas yra apie 0,95, kai garso dažnis yra 1500 Hz, tačiau naudojami keli neaustinės medžiagos sluoksniai.

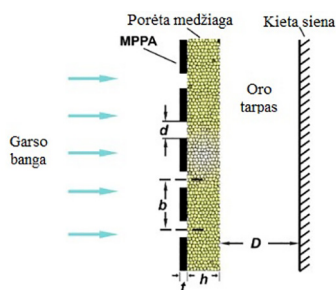
Kai kurie mokslininkai, gamindami garsą sugeriančias medžiagas, maišė polipropileno pluoštą su natūraliomis medžiagomis ir pluoštais, kad gautų dar didesnę naudą. Thilagavathi ir kt. (2010) sukūrė skirtingų tipų neaustinę medžiagą, naudodami adatų perforavimo techniką, sumaišydami bambuko, bananų ir džiuo pluoštus su polipropileno kuokšteliniais pluoštais santykiu 50:50. Garso sugerties koeficientas buvo patikrintas impedanso vamzdžio metodu. Visų mėginių fizinės savybės, tokios kaip tankis, storis, standumas, atsparumas tempimui, pailgėjimas, struktūrinės savybės, ir komforto savybės, kaip oro pralaidumas ir šilumos laidumas, buvo palygintos. Pastebėta, kad bambuko ir polipropileno neaustinė medžiaga, turinti kompaktišką struktūrą, pasižymi didesniu tempimo stiprumu, didesniu standumu, mažesniu pailgėjimu, mažesniu šilumos laidumu, mažesniu oro pralaidumu ir geru sugerties koeficientu nei kiti, ir yra tinkama automobilių salono triukšmo kontrolei. Esant 800 Hz, bambuko ir polipropileno ir džiuo ir polipropileno sugerties koeficientas yra lygus tiksliniam lygiui, tačiau bananų ir polipropileno sugerties koeficientas yra 22 % mažesnis.

Veerakumar ir Selvakumar (2012) pastebėjo, kad kapoko ir polipropileno neaustinės medžiagos pasižymi puikiais triukšmo mažinimo savybėmis plačiame dažnių diapazone. Buvo naudojami trys skirtingi kapoko ir polipropileno pluošto mišinio santykiai – 30:70, 40:60 ir 50:50. Kompozitai buvo suskirstyti pagal fizines savybes, t. y. storį, tankį, poringumą, ir garso sugerties charakteristikas 250–2000 Hz dažnių diapazone. Gautos garso sugerties koeficiento ir triukšmo mažinimo koeficiento reikšmės rodo, kad kapoko pluošto kompozitai pasižymi geru garso sugerties efektyvumu visame dažnių diapazone. Nustatyta, kad nesuspaustas kapoko ir polipropileno neaustinis kompozitas, kurio mišinio santykis yra 30:70, pasižymintis dideliu tūriniu tankiu ir mažu poringumu, yra geriausias, kai už kompozito yra oro tarpas.

Seddeq ir kt. (2013) pagamino akustines izoliacines medžiagas, maišydami natūralius tekstilės pluoštus (džiutą, medvilnę ir vilną) su sintetiniais tekstilės

pluoštais (poliesteriu ir polipropilenu), naudodami adatu perforavimo neaustinės medžiagos techniką. Rezultatai parodė, kad neaustiniai mėginiai pasižymi aukštais garso sugerties koeficientais (iki 0,67) esant aukštiesiems dažniams (2000–6300 Hz), mažais garso sugerties koeficientais (mažiau nei 0,06) esant žemesiems dažniams (100–400 Hz). Garso sugerties koeficientai visuose dažnių diapazonuose pagerėjo padidinus neaustinės medžiagos storį ir atlikus 6 % perforaciją. Be to, už mėginio palikus daugiau oro erdvės, pagerėjo garso sugertis esant žemesiems ir vidutiniams dažniams.

Bujoreanu ir kt. (2017) pristatė eksperimentinį garso sugerties koeficientų tyrimą, derindami džiuoto atliekas su kitomis perdirbtomis medžiagomis, tokiomis kaip gumos dalelės, polipropilenas, smulkintas plastikas, medienos miltai ir kordo audiniai su skirtingomis pagrindo plokštėmis. Tačiau pastebėta, kad mėginių, kuriuose buvo džiuoto pluošto atliekų ir gipso kartono plokštės, garso sugerties savybės buvo geresnės nei kitų kompozitų.



5 paveikslas. Mikroperforuotos plokštės absorberio (MPPA) sluoksnio iš akytos medžiagos ir oro tarpo schema (Liu et al., 2017)

Kiti mokslininkai savo darbe nagrinėjo daugiaskuoksnio mikroperforuoto skydo absorberį, kurio pirmas sluoksnis gaminamas pasitelkus 3D spausdinimo technologijas, garso sugerties galimybę. Skydo sluoksniai buvo spausdinami naudojant polimerinę plastiko medžiagą, kur skirtingi skylių tarpai buvo naudojami skirtingiems perforacijos santykiams sukurti. Garso sugerties koeficientai eksperimentiškai buvo išmatuojami naudojant interferometro testą, siekiant ištirti perforacijos ir oro tarpo už skydo gylio santykį. Be to, už perforuoto skydo pritvirtinamas porėtos garsą sugeriančios medžiagos sluoksnis, kad būtų sukurtas daugiaskuoksnis akustinis absorberis (5 pav.). Buvo nustatyta, kad naudojant porėtą, garsą sugeriančią medžiagą už skydo, išplečiamas daugiaskuoksnio akustinio absorberio dažnių juostos plotis. Didžiausio garso sugerties koeficiento dažnis gali būti keičiamas taikant skirtingą plokštės perforacijos santykį ir/arba oro tarpo už skydo gylį (Liu et al., 2017).

Bendra šių tyrimų tema rodo, kad tūrio tankis, storis, poringumas ir vingiuotumas yra pagrindiniai veiksniai,

turintys įtakos medžiagos šilumos perdavimui ir garso sugerties bei izoliavimo savybėms.

## Išvados

1. Bendros plastiko atliekų apdorojimo ir perdirbimo tendencijos rodo, kad plastiko atliekų gyvavimo ciklo ir žiedinės ekonomikos klausimas yra aktualus, plastiko naudojimo įvairiose sferose paieškos yra aktyviai nagrinėjamos ir tiriamos.
2. Išanalizavus garso absorbcijos ir izoliacijos konstrukcijose priklausomybes nuo medžiagos poringumo, struktūros ir masės galima teigti, kad pritaikius jas konstrukcijose iš perdirbto plastiko galima sukurti efektyvius garso sugėriklius ir garso izoliacijos konstrukcijas bei sumažinti plastiko atliekų kiekį.
3. Įvairių mokslininkų tyrimai parodė, kad plastiko atliekos, naudojamos pastatų akustikai gerinti, yra gera jau esamų akustinių sprendimų ateities alternatyva, gerinant patalpų aidėjimą arba sienų ir pertvarų izoliaciją.

## Literatūra

- Aslan, R., & Turan O. (2020). Gypsum-based sound absorber produced by 3D printing technology. *Applied Acoustics*, 161, 107162. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107162>
- Bhat, G., & Messiry, M. (2020). Effect of microfiber layers on acoustical absorptive properties of nonwoven fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 50(3), 312–332. <https://doi.org/10.1177/1528083719830146>
- Bujoreanu, C., Nedeff, F., Benchea, M., & Agop, M. (2017). Experimental and theoretical considerations on sound absorption performance of waste materials including the effect of backing plates. *Applied Acoustics*, 119, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.12.010>
- Caniato M., Cozzarini L., Schmid C., & Gasparella A. (2021). Acoustic and thermal characterization of a novel sustainable material incorporating recycled microplastic waste. *Sustainable Materials and Technologies*, 28, e00274. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00274>
- Chen, R. S., Salleh M. N., Ab Ghani M. H., Ahmad, S., Gan, S. (2015). Biocomposites based on rice husk flour and recycled polymer blend: effects of interfacial modification and high fibre loading. *Bioresources*, 10(4), 6872–6885. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.6872-6885>
- D'Amore, G.K.O, Caniato M., Travan A., Turco G., Marsich L., Ferluga A., Schmid C. 2017. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*, 165: 1306–1315. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.214>
- Sousa, A. C., Deckers, E., Claeys, C., & Desmet, W. (2021). On the assembly of Archimedean spiral cavities for sound absorption applications: design, optimization and experimental validation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147, 107102. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107102>

- Dharmaraj R., & Iyappan, G. (2016). Suitability of partial replacement of pulverized plastic as fine aggregate in cement concrete. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(23), 1–12. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i23/95856>
- Eriksen, M. K., Christiansen, J. D., Daugaard, A. E., & Astrup, T. F. (2019). Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling. *Waste Management*, 96, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.005>
- Eurostat. (2022). *Packaging waste statistics*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics>
- Foti, D. (2011). Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1906–1915. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066>
- Foti, D. (2013). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. *Composite Structures*, 96, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.09.019>
- Harussani, M. M., Sapuan, S. M., Khalina, A., Ilyas, R. A., & Hazrol, M. D. (2020). *Review on green technology pyrolysis for plastic wastes*. Institute of Tropical Forestry and Forest Products (INTROP), Universiti Putra Malaysia. <https://www.researchgate.net/publication/345958932>
- Lamba, P., Kaur, D. P., Raj, S., & Sorout, J. (2021). Recycling/reuse of plastic waste as construction material for sustainable development: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16980-y>
- Lin, J. H., Li, T. T., & Lou, C. W. (2016). Puncture-resisting, sound-absorbing and thermal-insulating properties of polypropylene-selvages reinforced composite nonwovens. *Journal of Industrial Textiles*, 45(6), 1477–1489. <https://doi.org/10.1177/1528083714562088>
- Liu, Z., Zhan, J., Fard, M., & Davy, J. L. (2017). Acoustic properties of multilayer sound absorbers with a 3D printed micro-perforated panel. *Applied Acoustics*, 121, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.032>
- Marques, D. V. et al. (2018). Recycled polyethylene terephthalate-based boards for thermal-acoustic insulation. *Journal of Cleaner Production*, 189, 251–262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.069>
- Mohan, H. T., Jayanarayanan, K., & Mini, K. M. (2021). Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials. *Construction and Building Materials*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121520>
- Muyen, Z., Barna, T. N., & Hoque, M. N. (2016). Strength properties of plastic bottle bricks and their suitability as construction materials in Bangladesh. *Progressive Agriculture*, 27(3). <https://doi.org/10.3329/pa.v27i3.30833>
- Peng, L. (2017). Sound absorption and insulation functional composites. In *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* (pp. 333–373). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00013-3>
- Raut, A., Salman Patel, M., Jadhwar, N.B., Khan, U., & Dhen-gare, P. W. (2015). Investigating the application of waste plastic bottle as a construction material – a review. *Journal of Advance Research in Mechanical & Civil Engineering*, 2(3). <https://doi.org/10.53555/nnmce.v2i3.362>
- Sakthipriya, N. (2021). Plastic waste management: A road map to achieve circular economy and recent innovations in pyrolysis. *Science of the Total Environment*, 809, 151160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151160>
- Seddeq, H. S., Aly, N. M., Marwa, A. A., & Elshakankery, M. H. (2013). Investigation on sound absorption properties for recycled fibrous materials. *Journal of Industrial Textiles*, 43(1), 56–73. <https://doi.org/10.1177/1528083712446956>
- Sezgin, H., Kucukali-Ozturk, M., Berkalp, O. B., & Yalcin-Enis, I. (2021). Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127132–304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127132>
- Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Thilagavathi, G., Pradeep, E., Kannaian, T., & Sasikala, L. (2010). Development of natural fiber nonwovens for application as car interiors for noise control. *Journal of Industrial Textiles*, 39(3), 267–278. <https://doi.org/10.1177/1528083709347124>
- Thiounn T., & Smith R. C. (2020). Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *Journal of Polymer Science*, 58(10), 1347–1364. <https://doi.org/10.1002/pol.20190261>
- Veerakumar, A., & Selvakumar, N. (2012). A preliminary investigation on Kapok/polypropylene nonwoven composites for sound absorption design and development of 3-dimensional spacer fabrics for multi-functional applications view project. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 37(4), 385–388.
- Wen, G., Zhang, Y., & Liu, J. (2020). Sound insulation properties of sandwich structure with hemispheric shell cores: Numerical and experimental studies. *Applied Acoustics*, 162, 107209. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107209>
- Zhao, C., Wang, P., Wang, L., & Liu D. (2014). Reducing railway noise with porous sound-absorbing concrete slabs. *Advances in Materials Science and Engineering*, 14, 206549. <https://doi.org/10.1155/2014/206549>

## POSSIBILITIES OF USING PLASTIC CONSTRUCTIONS FOR IMPROVING SOUND INSULATION AND ABSORPTION

A. Naimušin, T. Januševičius

### Summary

In this work possibilities of using the generated plastic waste in the building acoustics are analyzed. The aim of the work is to review the existing problems of plastic waste generation and recycling and to analyze the research of the topic on circular economy and the use of secondary raw materials in acoustics. The general tendencies of the use of secondary raw materials in acoustics observed by scientists were examined during the analysis of the literature. The main sound insulation and sound absorption properties of materials, their parameters and influence on the acoustics of buildings were studied. The applicability of sound insulation and absorption properties to structures made of recycled plastic are presented.

**Keywords:** acoustics, absorption, insulation, recycled plastics, circular economy.